

Ueber die

Einwirkung des Lichtes auf Pflanzen.

Eine mit Bewilligung

der Hochverordneten physiko-mathematischen Facultät

der Kaiserlichen Universität zu Dorpat

zur Erlangung des

Magistergrades

verfasste und zur öffentlichen Vertheidigung bestimmte

Abhandlung

von

Alexander Wolkoff,

Doctor d. Philosophie.

Dorpat.

Druck von C. Mattiesen.

1866.

Der Druck ist gestattet.

Dorpat, den 3. Mai 1866.

N^o 18.

(L. S.)

Dr. Carl Schmidt,

d. Z. Decan der physiko-mathematischen
Facultät.

D 34450

Meinem hochgeehrten Lehrer

Professor Dr. A. Petzholdt.

Einleitung.

Das Verhalten der Pflanzen zu den Gasen, welche von aussen auf die ersteren einwirken, sowohl wie die Ausscheidung der Gase aus Pflanzentheilen sind Fragen, die seit lange die Aufmerksamkeit vieler Naturforscher auf sich gelenkt haben.

Bekanntlich hat schon Ch. Bonnet im vorigen Jahrhundert bemerkt, dass grüne Blätter in Quellwasser getaucht und der Sonne ausgesetzt Gas, in Form aufsteigender Luftbläschen liefern. Da aber dieselbe Erscheinung beim destillirten Wasser nicht stattfand, so zog er daraus den Schluss, dass sie nur durch das Wasser, nicht aber durch physiologische Verrichtung der Blätter bedingt wäre. Priestley war der erste, der auf diese Weise entweichendes Gas untersuchte, und fand, dass es entweder aus reinem Sauerstoff oder aus einer sehr viel Sauerstoff enthaltenden Luftart bestand. Diese Entdeckung gab der seit Bonnet vernachlässigten Frage einen neuen Aufschwung, und die berühmtesten Pflanzenphysiologen, wie: Ingenhouse, Spallanzani, Theodor de Saussure, Woodhouse, Decandolle und Andere wandten sich ihr zu. Diese Männer haben die Frage nach dem sogenannten Ein- und Ausathmen von Gasen durch Pflanzen im Sonnenlichte und in der Finsterniss in allen ihren Details zu erforschen gesucht.

Th. de Saussure hat es mit seinem Scharfblick dahin gebracht, dass die von ihm vor einem halben Jahrhundert angestellten Versuche noch jetzt als Muster dienen können, und viele so präcis und naturgemäss aufgeklärt, dass man

Einleitung.

Verbesserungen.

- Seite 3 Zeile 1 v. u. statt Rohinia lies: Robinia.
" 4 " 10 v. o. " Helianthemum lies: Helianthemum.
" 4 " 4 v. u. " athmosphärische lies: atmosphärische.
" 4 " 2 v. u. " Räumung lies: Keimung.
" 7 " 11 v. u. " den Sauerstoff assim. lies: den Kohlenstoff assim.
" 9 " 3 v. o. " zum Lichte schaden lies: zum Lichte nicht schaden.
" 11 in der Tabelle statt Kohlenstoff lies: Kohlensäure.
" 22 Zeile 11 und 16 v. u. statt Integrität lies: Intensität.
" 56 " 11 v. u. statt $n = 1000$ lies: d. Innere der Pflanze = 1000.
" 57 " 9 v. u. " in 20' lies: in 60'.

enthaltenden Luftart bestand. Diese Entdeckung gab der seit Bonnet vernachlässigten Frage einen neuen Aufschwung, und die berühmtesten Pflanzenphysiologen, wie: Ingenhouse, Spallanzani, Theodor de Saussure, Woodhouse, Decandolle und Andere wandten sich ihr zu. Diese Männer haben die Frage nach dem sogenannten Ein- und Ausathmen von Gasen durch Pflanzen im Sonnenlichte und in der Finsterniss in allen ihren Details zu erforschen gesucht.

Th. de Saussure hat es mit seinem Scharfblick dahin gebracht, dass die von ihm vor einem halben Jahrhundert angestellten Versuche noch jetzt als Muster dienen können, und viele so präcis und naturgemäss aufgeklärt, dass man

es seit ihm sogar nicht mehr zu controlliren braucht. Er war, so viel uns bekannt, der erste, der nicht nur die besten und ausführlichsten Arbeiten über die Zersetzung der Kohlensäure und die Ausscheidung des Sauerstoffs durch die grünen Theile der Pflanzen angestellt¹⁾, sondern auch die Absorptions-Erscheinungen, die bei dem Zusammentreffen von Vegetabilien mit Gasen stattfinden, schärfer ins Auge fasste. Er zeigte zuerst die wichtige Rolle, welche der Sauerstoff bei allen Lebensfunctionen spielt: er wies die Thätigkeit des Sauerstoffes im Prozess der Keimung, bei welcher Kohlensäure ausgeschieden wird, nach und that die Aufnahme des Sauerstoffes durch die Blüthentheile und die Bildung von Kohlensäure durch die letzteren in einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre dar²⁾.

Die männlichen Blüthen verbrauchen bei gleichem Volumen mehr Sauerstoff als die weiblichen, und zwar verbrauchen sie ihn während der Floration am meisten; bei der Entfaltung der Knospe sowohl, als später bei dem Abblühen bilden sie weniger Kohlensäure. Auch war Th. de Saussure der Erste, der die Kohlensäureausscheidungen unter Sauerstoffaufnahme bei unterirdischen chlorophyllfreien Organen nachwies. Die holzigen, entblättern Stengel³⁾ nehmen nach seiner Angabe im Finstern Sauerstoff auf.

Alle diese und viele andere aufgefundene Thatsachen haben also schon seit lange den Forschern gezeigt, dass das Verhalten der Vegetabilien zu Gasen eigentlich in zwei Hauptmomente zerfällt. — Einerseits nehmen demnach die Pflanzentheile Kohlensäure auf und liefern dafür eine sauerstoffreiche Luft, andererseits aber nehmen sie Sauerstoff auf und scheiden dafür Kohlensäure aus. Saussure wusste also schon diese Functionen von einander zu unterscheiden und bewies auch schon, dass beide den chlorophyllhaltigen Organen zukommen und dass die Kohlensäure,

1) In seiner klassischen Arbeit in Rech. chem. 1804. Cap. III. § 1.

2) Rech. chem. s. l. regit. p. 126.

3) Rech. chem. Cap. III. § 7.

welche ein grüner Pflanzentheil durch Einathmung von Sauerstoff gebildet hat, unter dem Einfluss des Lichtes wieder zersetzt wird.

Spätere Arbeiten von Grischow⁴⁾ im Jahre 1819, und Marcet⁵⁾ im Jahre 1834 bewiesen, dass die Pilze sowohl im Dunkeln als auch im Lichte Sauerstoff absorbiren und Kohlensäure ausscheiden.

Pasteur giebt an, dass die Schimmelpilze in kurzer Zeit den Sauerstoff aus einer limitirten Luftmenge vollständig absorbiren unter Ausscheidung von Kohlensäure.

Charles Lory⁶⁾ hat durch eine sehr schöne Arbeit über Orobanchen nachgewiesen, dass die chlorophyllfreien Phanerogamen zu jeder Zeit ihrer Vegetation und durch alle ihre Theile sowohl im Dunkeln, als im Sonnenlicht Sauerstoff aufnehmen und dafür Kohlensäure ausscheiden. Die directen Sonnenstrahlen wirken dabei insofern als sie die Temperatur erhöhen, wodurch die Bildung der Kohlensäure vermehrt wird.

Garreau de Lille hat sehr ausführliche Beobachtungen über die Kohlensäureabscheidung der sich entfaltenden Knospen angestellt⁷⁾; Corenvinder fand, dass dieselben selbst im Sonnenlichte Kohlensäure aushauchen⁸⁾.

Dutrochet's Versuche mit der Mimose zeigten, dass die sauerstoffhaltige Luft eine Bedingung ihrer Beweglichkeit ist. Dieselbe, unter dem Recipienten einer Luftpumpe gesetzt, und nach Verdünnung der Luft, nehmen eine andauernd starre Stellung ein: die periodischen Schwingungen hören auf und für Erschütterung ist sie unempfindlich⁹⁾. Diese Eigenschaften kehren wieder, sobald die Pflanze der Luft von Neuem ausgesetzt wird. — Brachte Dutrochet Blättchen von *Rohinia pseudoacacia* in

4) Physikal.-chem. Untersuch. über Athmung der Gewächse. 1819.

5) Société de phys. et d'hist. nat. de Genève. 1834.

6) Ann. des sc. nat. 1847.

7) Ann. des sc. nat. 1851.

8) Comptes rendus. 1863.

9) Dutrochet. Mém. 1.

lufthaltiges Wasser, so setzten dieselben ihre periodischen Bewegungen fort, verloren sie aber in luftfreies Wasser versetzt alsbald.

Kabsch¹⁰⁾ wiederholte die meisten Versuche von Dutrochet und bestätigte die Richtigkeit der durch dieselben gewonnenen Resultate. — Ausserdem stellte er eine Reihe neuer Versuche mit den für die Erschütterung reizbarer Staubfäden der *Mahonia* und *Berberis* an. Dieselben hören auf reizbar zu sein bei einer Dichte der sie umgebenden Luft von 20—24 millm. Quecksilberdruck. Die Staubfäden von *Helianthemum vulgare* wurden starr unter einem Quecksilberdruck von 5 bis 10 Linien. Ueberall kehrte die Beweglichkeit bei dichter Luft wieder. In reinem Stick- und Wasserstoffgas waren die untersuchten Pflanzentheile schon nach einigen Minuten unempfindlich gegen Reize.

Kühn¹¹⁾ hat vor Kurzem Untersuchungen über das nackte Protoplasma der *Myxomyceten* und über dasselbe der Filamenthaare von *Tradescantia* angestellt. *Myxomyceten* Protoplasma in einem mit Wasserdampf gesättigten Recipienten auf den Objectträger gelegt, und unter einem andauernden Strom von Wasserstoffgas gebracht, welcher aus ihm die Luft austrieb — zeigte keine Bewegung. Die Kohlensäure wirkte gleichfalls, nur schneller, weil dieselbe chemisch beschädigend wirkte. Bei Luftzutritt trat die Bewegung wieder hervor. Alle seine Versuche gingen darauf hinaus, die Unentbehrlichkeit einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre zur Erhaltung des Stromes im Protoplasma zu beweisen. Dieses ist, soviel uns bekannt, die einzige Arbeit über dieses Verhalten des Protoplasma.

Wir sehen also aus allen diesen so mannigfaltigen und zahlreichen Arbeiten, wie wichtig die Rolle ist, die der atmosphärische Sauerstoff im Leben aller Vegetabilien auf der Erde spielt. Ohne Sauerstoff — keine Räumung, kein Leben in der Zelle, kein Wachsthum. Ueberall findet Absorption von Sauer-

10) Botanische Zeitung. 1862.

11) Kühn, Untersuchungen über das Protoplasma. Leipzig 1864.

stoff statt, begleitet meistens von Ausscheidung von Kohlensäure.

Wenden wir uns nun zu der Kohlensäure und betrachten in gedrängter Kürze ihren Einfluss auf die Vegetabilien.

Wenn die Gegenwart des Sauerstoffs, wie wir gesehen haben, eine unerlässliche Bedingung jeder Lebenserscheinung in dem Pflanzenreiche ist, so können wir dies keineswegs von der Kohlensäure behaupten. Eine jede Pflanze kann in einer vollkommen kohlensäurefreien Atmosphäre leben. Dies ist eine Thatsache, die zwar vor langer Zeit schon gefunden, doch nicht genügend berücksichtigt worden ist. Das Vorhandensein der Kohlensäure in der die Pflanzen umgebenden Luft bedingt nicht das Leben einer Pflanze, sie befördert nur dasselbe bei manchen Arten, und ist bei diesen nicht massgebend für das ob — sondern nur für das wie der Entwicklung.

Nach Bonnet und Priestley, welche, wie wir sahen, zuerst auf die Ausscheidung von Sauerstoff durch grüne Pflanzentheile das Augenmerk wendeten, gelang es Sennebier zuerst zu zeigen, dass dieselbe in bestimmter Beziehung zu der aufgenommenen Kohlensäure steht. Auch hier tritt Theodor de Saussure mit seinem Scharfblick auf, bestätigt die früheren Arbeiten und liefert ausserdem den Beweis dazu, dass bei der Aufnahme von Kohlensäure in grüne Pflanzentheile eine Gewichtszunahme an organischer Substanz eintritt, und dass ausser dem zurückgehaltenen Kohlenstoff noch und zugleich Wasserstoff und Sauerstoff gebunden werden.

Alle diese und andere Versuche (Rochleder: Chemie u. Physiol. der Pflanzen, 1858) führten zu dem Beweise, dass diese Kohlensäureaufnahme und Sauerstoffabscheidung durch die Thätigkeit des Chlorophylls bedingt sind. Nur eine Thatsache, die schon von Saussure gezeigt und später durch Correnwinder¹²⁾ angenommen worden war, schien die alleinige Theilnahme des Chlorophylls in Verdacht zu setzen, nämlich

12) Comptes rendus 1863. (Eine auch sonst unbedeutende Arbeit.)

dass auch die rothen, gelben und andere bunte Blätter im Lichte ebenfalls Sauerstoff abscheiden. Es wurde der Zweifel ausgesprochen, ob man überhaupt das Chlorophyll allein als massgebend für die besprochene Function anzunehmen hat. Indessen wurde diese Frage sehr bald entschieden, indem man den Beweis dazu lieferte, dass die mit bunten Säften erfüllten Zellen ausserdem auch gewöhnliche Chlorophyllkörner enthalten. Es gelang sogar Cloëz im Jahre 1863 zu beweisen, dass die bunten Blätter nur nach Massgabe ihres Chlorophyllgehaltes Sauerstoff im Lichte ausscheiden.

Alle diese Arbeiten führen uns zu den Folgerungen:

- 1) alle Vegetabilien nehmen beständig Sauerstoff auf, und scheiden dafür Kohlensäure aus;
- 2) chlorophyllhaltige Pflanzen nehmen unter Einwirkung des Lichtes ausserdem auch Kohlensäure auf und scheiden dafür Sauerstoff aus.

Wir sehen also, dass die mit Chlorophyllzellen versehenen Vegetabilien zwei scharf entgegengesetzte Thätigkeiten im Laufe ihres Lebens zeigen. Die eine ist die Aufnahme des Sauerstoffs und die entsprechende Abscheidung von Kohlensäure, die andere die Aufnahme von Kohlensäure und Ausscheidung von Sauerstoff.

Die Erste dieser Thätigkeiten kommt, wie wir gesehen, jeder Pflanze, also auch der mit Chlorophyllkörner versehenen, von der Keimung an bis zum letzten Lebensmoment (freilich in sehr verschiedenen quantitativen Verhältnissen), sowohl im Finstern als auch im Lichte zu, und wird durch das letztere wenig beeinflusst.

Die zweite Thätigkeit gehört nur dem durch Chlorophyll-Farbstoff gefärbten Protoplasma an, welches übrigens nur dann die Ausscheidung des Sauerstoffs hervorbringen kann, wenn es vom Licht getroffen wird, wobei freilich die Intensität der Ausscheidung von der Intensität des Lichtes beeinflusst sein muss, und wie wir in dieser Arbeit beweisen werden, mit derselben in gerader Proportion steht. Dass dabei jede Pflanze ein gewisses ihr eigenthümliches Minimum der Lichtintensität

bedarf, um die chlorophyllhaltigen Zellen in die besprochene Function zu setzen, ist gewiss, doch wie gross es ist und welchen Modificationen es unterworfen sein kann, darüber wissen wir so viel wie nichts. Sowohl diese Frage als auch viele andere, die auf diesem Gebiete aufgestellt werden können, liessen sich nur mit Hülfe eines solchen Apparates untersuchen, das gewisse Stellen *ceteris paribus*, nur unter verschiedenen, jedoch in denselben Verhältnissen wechselnden Intensitäten des Lichtes beleuchtet. Nur dann sind wir im Stande die Wirkung irgend eines Factors im Leben eines Organismus zu ergründen, wenn wir bei unveränderten übrigen Factoren nur den einen aufs Verschiedenste modificiren. — Ein solcher Apparat wird weiter unten besprochen werden.

Wenn man eine Chlorophyllpflanze im Dnnkeln wachsen lässt, so keimt sie, setzt Wurzel, Internodien und Blätter an. Internodien und die Blätter werden weiss oder gelblich weiss. Die Pflanze erzeugt keine anderen Gebilden. Die ganze Menge der verbrennlichen Substanz einer im Dunkeln gewachsenen Pflanze übersteigt nicht die im Samen enthaltenen*). Sie hat nichts assimilirt und nur auf Kosten der im Samen assimilirten Reserv-Stoffen gelebt. Bringt man dieselbe ins Licht, so wirkt dies auf die bleich gebliebenen Chlorophyllkörner der Blätter oder der Internodien, sie werden grün und nehmen die Kohlensäure auf, aus welcher sie den Sauerstoff assimiliren und den Sauerstoff abscheiden. Die Zersetzung der Kohlensäure also verursacht eine Zunahme der vegetabilischen Substanz der Pflanze. Die Aufnahme von Sauerstoff aber, bei Abgabe von Kohlensäure verursacht eine Verminderung der vegetabilischen Substanz. — Wenn wir nun diese beiden so streng abgesonderten Thätigkeiten einer Pflanze mit der physiologischen Function der Thiere vergleichen wollen, so kann, selbst bei der oberflächlichsten Betrachtung der Sache, nicht im Geringsten ein Zweifel bestehen, mit welchem Namen wir der Analogie nach diese beiden Pflanzen-Functionen bezeichnen müssen. Indem wir aber hier nicht weiter

*) Boussingault.

auf diese Analogien und ihre Berechtigung eingehen können, wollen wir nur hervorheben, dass bis jetzt die grösste Verwirrung in der Bezeichnung der betreffenden Functionen geherrscht hat. Bald wurde die Zersetzung der Kohlensäure, bald die Aufnahme von Sauerstoff unter Abgabe von Kohlensäure, oder sogar auch beide Thätigkeiten als Athmung bezeichnet.

Wir sehen also das jede grüne Pflanze athmet und assimilirt. In beiden Fällen ist dabei Ausscheidung von Gas aus der Pflanze vorhanden — beim Athmen ist es die Kohlensäure, beim Assimiliren der Sauerstoff. Im Lichte also, wo die Assimilation stattfinden kann, muss nach all dem Gesagten das ausgeschiedene Gas aus Kohlensäure und Sauerstoff bestehen. Beide verhalten sich zum Lichte wesentlich verschieden. Das Athmen wird vielleicht nur modificirt durch das Licht, die Assimilation aber ist durch dasselbe bedingt. Es kann sich demgemäss eine grüne Pflanze, je nach der Intensität des Lichtes in 4 facher Weise verhalten:

- 1) die Pflanze athmet ohne zu assimiliren;
- 2) die Pflanze athmet mehr als sie assimilirt;
- 3) sie athmet eben so viel als sie assimilirt;
- 4) dieselbe assimilirt mehr als sie athmet.

Wenn wir also das Verhalten des Lichtes zu Gasausscheidungen aus Pflanzen studiren wollen, so müssen wir, um möglichst der Wahrheit nahe zu kommen, unser Augenmerk darauf lenken, mit welchen Pflanzen wir es zu thun haben, d. h. welcher von den aufgezählten Categorien dieselbe angehören. — Mir war es von besonderem Interesse die Lösung der Frage zu versuchen, in welchem Verhältnisse die Assimilation zur Lichtintensität steht. Zu diesem Zwecke wäre es freilich am geeignetsten gewesen eine solche Pflanze zu haben, deren Gasausscheidungen nur von der Assimilation herrühren. Solche existiren leider nicht. Es giebt aber welche, die wenngleich nicht dieser Anforderung vollkommen entsprechen, doch ein das Athmungsvermögen so überwiegendes Assimilationsvermögen

besitzen, dass die Mengen der ausgeschiedenen Kohlensäure nicht nur der Reinheit des Verhaltens der Ausscheidung von anderen Gasen zum Lichte schaden können, sondern sogar aus dem Gebiete der bei jedem Versuche nothwendig existirenden Fehlerquellen nicht ausgesondert werden können. — Solche Eigenschaften besitzen die meisten stark mit Chlorophyll versehenen Wasserpflanzen.

Wenn wir die Stengel mit den Blättern von solchen Pflanzen, als *ceratophyllum demersum*, *myriophyllum spicatum*, *vallisneria spiralis*, *najas maxima*, *potamogeton perfoliatum*, *potamogeton crispum*, *potamogeton natans* in Kohlensäure und lufthaltiges Wasser untertauchen, und dieselben der Einwirkung der direkten Sonnenstrahlen, oder dem diffusen Himmelslichte aussetzen, so können wir in kurzer Zeit so viel Gas sammeln, dass eine eudiometrische Analyse desselben möglich wird. Im Dunkeln sollen sie nach der Meinung von Cloëz und Gratiolet gar keine Kohlensäure liefern ¹³⁾, was allerdings den Angaben von Saussure, Garreau und anderen widerspricht, indessen ist es doch gewiss, dass jene Abgabe von Kohlensäure wenn sie auch stattfindet, höchst unbeträchtlich sein muss.

Die Analysen des im Lichte von den genannten Pflanzen ausgeschiedenen Gases haben gezeigt, dass die Kohlensäuremengen nie mehr als 2 p. Ct. der gesamten Gasmenge ausmachten. Knop ¹⁴⁾ fand sogar, in Gasen von *Myriophyllum* nie mehr als $\frac{1}{2}$ p. Ct. Kohlensäure, wobei er dieselben aus Pflanzen erhielt die nicht in vollkommen mit Kohlensäure gesättigtem Wasser lagen. S. 19 aber lesen wir bei ihm: „selbst in dem mit Kohlensäure gesättigten Wasser enthält das Gas nie 1 p. Ct. Kohlensäure.“ — Ich würde mich mit diesen Angaben vollkommen begnügt haben, wenn mir nicht die Arbeit von Cloëz und Gratiolet bekannt wäre, die mit dieser Behauptung nicht ganz übereinstimmt. Aus ihren Versuchen nämlich, die

13) Annales de Chim. et de phys. 3. Ser. T. XXXII. 1857.

14) Ueber das Verhalten einiger Wasserpflanzen zu Gasen. 1853.

sie angestellt haben um die Frage zu lösen, wie sich die Ausscheidung der Gase zum Lichte verschiedener Farben verhält, haben sie bei der Analyse des aus *potamogeton perfoliatum* austretenden Gases grosse Mengen von Kohlensäure aufgefunden. Aus der Tabelle die sie S. 51 geben, ersieht man, dass der Procentgehalt der Kohlensäure von 10 bis 23 steigen kann, also einen Werth hat der sehr von dem von Knop aufgefundenen abweicht. Man braucht aber nur den Umstand zu berücksichtigen, dass die Herren Cloëz und Gratiolet ihr Gas jedesmal 3 bis 4 Stunden sammelten, um solchen Angaben nicht viel Werth, namentlich in Bezug des Kohlensäuregehalts zu schenken. Sie geben auch die Temperaturen des Wassers an, bei welchen diese Gase gesammelt wurden, erklären aber nicht, wie sie im Stande waren dieselben 3—4 Stunden unverändert zu erhalten. Uebrigens scheinen die Verfasser selbst diesen Zahlen nicht viel Vertrauen zu schenken, indem sie dieselben zu keinen weiteren Folgerungen verwenden und sich nur mit den dabei gefundenen Verhältnissen des Stickstoffes zum Sauerstoffe beschäftigen, worauf wir weiter unten zurückkommen werden.

Um aber noch mehr über diese Verhältnisse ins Klare zu kommen, habe ich selbst eine Reihe Analysen vorgenommen, von Gasen, die ich aus *Ceratophyllum demersum* und *ranunculus fluitans* sammelte. Zu diesem Zwecke wurden Pflanzentheile in Bechergläsern unter mit Kohlensäure und Luft gesättigtes Wasser getaucht. Ueber die Pflanzentheile wurden Trichter gestürzt. Ueber die Spitzen der Trichter aber wurden mit demselben Wasser gefüllte Probirröhrchen so angebracht, dass ihre Oeffnung unter das in den Bechern enthaltene Wasser tauchte. — Ausserdem wurde, wie bei Cloëz und Gratiolet, noch etwas Oel in die Röhrchen gebracht, damit das in denselben aufgefangene Gas nicht mit dem Wasser zu lange in Contact verbliebe. — Man leitete einige Stunden lang Kohlensäure in das Wasser hinein, was auch während des Gas sammelns geschah, und wartete bis das Wasser wenigstens die Temperatur der äusseren Luft erhalten hatte. Dieses aber

ist nothwendig um nicht allzugrosse Schwankungen der Temperatur des Wassers zu begegnen. — Darauf wurde das Gas gesammelt, und zwar nur so lange, bis sich irgend wo auf der Pflanze oder an den Wänden des Glases Luftbläschen zeigten. Dies geschah desswegen, weil man ja nicht die Gase aus dem Wasser, sondern die aus den Pflanzen untersuchen wollte. — Kein Versuch hat länger als eine Stunde gedauert. — Sämmtliche Analysen sind hier aus der folgenden Tabelle zu ersehen. — Die Analysen wurden alle eudiometrisch ausgeführt: Kohlensäure wurde durch Kali absorbirt. Sauerstoff mit Wasserstoff explodirt.

Dauer des Sammelns in Minuten	Namen der Pflanzen	In 100 Theilen		
		Kohlenstoff	Sauerstoff	Stickstoff
30	4, 6 bis 7 Zoll lange Stengel v. Cerat. dem.	1,58	60,20	38,12
40	Ranunculus fluitans.	1,00	80,00	19,00
50	5 Stengel v. Cer. d.	1,62	58,31	42,07
60	Ranunculus fluitans.	1,50	32,40	6,10

Man sieht also, dass die Kohlensäure hier in sehr unbedeutenden Mengen auftritt, und sogar in Mengen die bei derartigen Versuchen zu klein sind, als dass man sicher sein könnte, dass sie aus der Pflanze und nicht meistens aus dem Wasser herrühren. — Um mich noch besser zu überzeugen, dass die Kohlensäure bei den Versuchen der Herren Cloëz und Gratiolet auch wirklich aus dem Wasser herrührte, liess ich die Entwicklung einige Stunden fort dauern und nahm keine Rücksicht auf die Gasbläschen die nach Verlauf schon etwa einer Stunde die Pflanzentheile und das Glasgefäss bedeckt hatten. Die Analyse ergab folgende Zusammensetzung der Gase:

Auf 100 Theile Gas.

in cerat. demer.	11,56 Kohlensäure.
„ „	62,33 Sauerstoff.
„ „	26,11 Stickstoff.

Wir haben also hier nicht mehr ein geringes Quantum Kohlensäure, sondern mehr als 10 p. C. erhalten.

Wenn man aber auch Stundenlang die Entwicklung der Gase verfolgt, und nur Sorge trägt, dass die sich im Wasser bildenden Bläschen nicht in die Probirröhrchen aufsteigen, so wird auch hier der Kohlensäuregehalt nicht beträchtlich erscheinen, wie dies die Analysen eines bei derartigen Umständen aufgefangenen Gases von *ceratophyllum* und *ranunculus* zeigen. Die Dauer war hier 2 Stunden und 45 Minuten.

in 100 Theilen.

Ceratophyllum.	Ranunculus.
74,5 Sauerstoff.	87,3
22,4 Stickstoff.	20,5
5,1 Kohlensäure.	2,2
<hr/> 100,0	<hr/> 100,0

Aus all dem Gesagten sind wir nun berechtigt zu schliessen:

1. Dass die von uns untersuchten Wasserpflanzen zu denjenigen gehören, deren Assimilation so stark sein kann, dass sie in keinem nachweisbaren Verhältniss mit dem Athmen steht.
2. Dass dieselben Pflanzen in Folge ihrer raschen Ausscheidung von Gasen, sobald sie nur ein ziemlich intensives Licht trifft, sehr gut dazu dienen können, dass Verhältniss des Lichtes zur Assimilation zu studiren.



Abtheilung I.

Die im Jahre 1864 in der „botanischen Zeitung“ Nr. 47 von Prof. Julius Sachs erschienene Arbeit über die Wirkungen des farbigen Lichtes auf Pflanzen, gab mir Veranlassung, eine Reihe neuer Untersuchungen über die Wirkungen des Lichtes von verschiedener Intensität auf dieselben anzustellen.

Die Methode nämlich, die er angewandt hatte, um die Ausscheidung der Gase aus Pflanzen quantitativ bestimmen zu können, und welche auf einer Messung derselben durch die Zahl der Blasen, die aus den in kohlensaurem Wasser untergetauchten Wasserpflanzen in einer gegebenen Zeiteinheit ausströmen, beruht, schien mir ganz zweckmässig zu sein, um auch die Frage zu lösen, in welchem Verhältnisse die Ausscheidung der Gase zu der Intensität des Lichtes überhaupt steht.

Sachs beobachtete die Gasabscheidung unter gemischtem, orangem und blauem Lichte, und zwar mittelst folgender Einrichtung. In einen Cylinder von farblosem Glase, das mit Wasser gefüllt war, wurde ein Zweig einer Wasserpflanze in möglichst unveränderlicher Stellung eingebracht. Der Cylinder war mit einem genau schliessenden Korke versehen, durch welchen zwei Röhren gingen, von deren eine in das Wasser des Cylinders tauchte und demselben Kohlensäure fortwährend zuleitete, die andere aber über der Oberfläche des Wassers mündete und zur Communication der äusseren mit der inneren Luft im Cylinder diente. Ausserdem war in dem Korke noch ein Thermometer eingesetzt, dessen Ende in das Wasser

tauchte. Der so eingerichtete Apparat wurde nun in andere breitere Cylinder eingestellt, in welche man Kalibichronicum gelb oder mit schwefelsaurem Kupferoxydammoniak blau gefärbte Lösungen eingoss. An dem Korke wurden seitlich Haken angebracht, die dem inneren Cylinder eine festere Stellung gaben. Der Apparat wurde an das geöffnete Fenster so gestellt, dass das directe Sonnenlicht durch die Flüssigkeiten zur Pflanze drang. Das von der orangen Lösung durchgelassene Licht enthüllte das Roth, Orange, Gelb und etwas Grün, seine Wirkung auf photographisches Papier ist ungemein schwach; von der blauen Lösung wurden verschiedene Concentrationen angewendet, die hellere Lösung liess ausser dem Blau, auch noch Grün, Gelb, Orange, Roth doch geschwächt, hindurch, die dunklere dagegen gab in der angewandten Dicke ein Spectrum, das nur aus Violett, Blau und etwas Grün bestand. Die photographische Wirkung dieses blauen Lichtes ist sehr stark. Als Maas der Sauerstoffabscheidung wurde die Anzahl der in gleichen Zeiten aus der Schnittfläche des Stammes getretenen Blasen genommen. Die Zählung der Gasblasen wurde folgendermaassen angestellt: bei klarem Himmel und Sonnenschein wurde z. B. die Zahl der Blasen für eine gegebene Zeit bestimmt, wenn der Cylinder frei oder in Wasser stand; darauf wurde dieser in den mit oranger Flüssigkeit gefüllten Cylinder eingesetzt, hier eine eben solche Zählung vorgenommen, dann der innere Cylinder herausgestellt, abgewischt, eine neue Zählung gemacht, worauf er wieder in die Flüssigkeit gestellt wurde, um eine zweite Zählung vorzunehmen u. s. f.

Als Beispiele derartiger Beobachtungsreihen mögen folgende gelten:

Ceratophyllum demersum.

Am 26. Sept. 1864, 10½—11 Uhr Vormittags. Es wurden immer zweimal bei jeder Beleuchtung die in einer Minute austretenden Blasen gezählt, dann die Beleuchtung gewechselt:

Beleuchtung d. Pflanze. — Zahl d. Bl. pro Minute. — Temp. d. Wassers.

Orange	23	27,2°
	23	27,0°
weiss 23		
24	—	27,4°
Orange	20	
	20	27,0°
weiss 22		
23	—	27,4°
Orange	21	
	20	27,6°
weiss 23		
23	20	27,8°
Orange	21	27,6°

Mittel der Blasen Zahl pro Minute im weissen Lichte = 23,
im orangen = 21.

Bei den folgenden Reihen wurden abwechselnd im weissen Lichte und hinter der dunkelblauen Lösung, welche Violett, Blau und Grün durchliess, beobachtet, und die Zeit bestimmt, welche zur Bildung der Gasblasen nöthig war.

Ceratophyllum demersum.

Am 26. Sept. 1864 von 11—12 Vormittags. Im weissen Lichte 19 Blasen in 1 Minute. 28° C.

Im blauen Lichte keine Blasen in 5 Minuten.

Im weissen Lichte 17 Blasen in 1 Minute 30,8° „

Nach dem Herausstellen des inneren Cylinders aus der blauen Lösung an das Sonnenlicht dauerte es länger als 1 Minute, bevor die erste Blase zum Vorschein kam.

Am 27. Sept. nach 11 Uhr Vormittags. Im blauen Lichte keine Blasen in den ersten 5 Minuten.

10 Minuten später 1 Blase in 34 Secunden,

11 „ „ 1 „ „ 36 „

12 „ „ 1 „ „ 34 „ 23,6° C.

Im weissen Lichte nach einer Minute die erste Blase.

2 Minuten später 10 Blasen in 45 Secunden.

3 " " 10 " " 35 "

3 " " 10 " " 33 " 23° C.

Im blauen Lichte eine Blase in 22 Secunden,

1 Minute später 1 Blase in 34 Secunden.

Hier war also die Blasenbildung im blauen Lichte ungefähr 10 mal langsamer, als im weissen; indess wechselt dieses Verhältniss bei jeder Beobachtungsreihe. Die im Frühjahre, Sommer und Herbste gemachten Beobachtungen ergaben aber, dass die Verzögerung der Blasenbildung in dem durch Kupferoxydammoniaklösung gegangenen Lichte um so grösser wird, je dunkler die Lösung ist, d. h. je mehr das durchgehende Licht von rothen, orangen, gelben Stellen befreit ist, während dagegen alle Beobachtungen übereinstimmend ergaben, dass das durch gesättigte Auflösung von Kali bichromicum fallende, von blauen und violetten Strahlen befreite Licht auf die Gasabscheidung beinahe ebenso energisch einwirkt, wie das vollständige Sonnenlicht.

Sachs untersuchte auch dabei mittelst eines sensiblen photographischen Papieres, das durch die blaue und gelbe Lösung durchgegangene Licht, und fand dass im blauen Lichte das Papier stark geschwärzt wurde, während es im gelben kaum eine Veränderung erlitt. Dies alles, sagt Sachs, „zeigt wie lückenhaft unsere Kenntnisse über diesen Gegenstand noch sind und wie verdienstlich es wäre, ihn durch fortgesetzte tiefer eindringende Untersuchungen zu beobachten“.

Bevor ich aber die Arbeit über das Verhältniss der Ausscheidung der Gase aus Pflanzen zur Intensität des Lichtes unternahm, glaubte ich, die Methode selbst einer genaueren Prüfung unterwerfen zu müssen, und zwar erstens wegen der Neuheit der Methode selbst, zweitens, um mit derselben vollkommen vertraut zu werden. Ich wiederholte also die Versuche von Prof. Sachs mit dem *ceratophyllum demersum* und ausserdem untersuchte ich noch auf gleichem Wege das *potamogeton natans* und den *ranunculus fluitans*.

Die mit einem scharfen Messer abgeschnittenen Stengel dieser Pflanzen, in kohlensaures Wasser untergetaucht, entwickeln oft aus der Schnittfläche des Stengels kleine Bläschen, selbst wenn dieselben in einen vollkommen dunklen Ort gebracht werden. Diese Ausscheidung jedoch hört in demselben nach einigen Minuten auf. Sie ist hauptsächlich dadurch bedingt, dass das Gas, welches sich in den Lufträumen der Pflanze befindet, bei der Einführung derselben in eine wärmere Flüssigkeit ausgedehnt, sich in Bläschen ausscheidet, was freilich bei kleineren Pflanzentheilen ziemlich schnell aufhören muss, da die Menge des in ihnen enthaltenen Gases überhaupt nur eine geringe sein kann. Darauf folgt nun ein Stillstand in der Gasentwicklung. Wenn man aber die Pflanzen in das directe Sonnen- oder intensive Himmelslicht bringt, so findet fast augenblicklich Gasausscheidung statt. Es entwickeln sich aus den Schnittflächen der Stengel kleinere oder grössere Gasbläschen, deren Grösse bei dem Lichte verschiedener Farben und Intensität die nämliche bleibt, deren Zahl aber in einer gegebenen Zeiteinheit wesentlich durch die Art des Lichtes bedingt ist. Die Bläschen scheiden sich von der Schnittfläche nur dann ab, wenn ihr Volumen ein gewisses Maximum erreicht, so dass man schon a priori schliessen kann, die Gasbläschen seien von gleicher Grösse, natürlich nur, wenn die Temperatur des Wassers dieselbe ist, und wenn das Wasser mit Kohlensäure, Sauerstoff und Stickstoff gesättigt bleibt. Ausserdem habe ich mich davon überzeugt mittelst einer einfachen Messung der Volumina der in verschiedenen Zeiten abgeschiedenen Gasbläschen, wobei ich freilich eine gewisse Anzahl derselben als Einheit betrachtete.

Was die Zusammensetzung der auf diese Weise ausgeschiedenen Gase anbelangt, werden wir vorläufig nur erwähnen, dass es aus Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure bestehen kann, dass die quantitativen Verhältnisse derselben Gase sehr verschieden sein können, und dass je länger aus einer Pflanze sich Gas ausgeschieden hat, desto grösser der Sauer-

stoffgehalt des sich nun ausscheidenden Gases ist. Diese That-
sachen sind schon seit lange allgemein anerkannt und festge-
stellt. Man wählt sich selbstverständlich zu allen derartigen
Versuchen solche Pflanzen oder Pflanzentheile, die unter dem
Wasser leben, also wie *Ceratophyllum demersum*, *Ranunculus*
fluitans u. s. w., die also keine Stomata besitzen. Ferner hat
es sich als sehr zweckmässig erwiesen, mit solchen Pflanzen
zu arbeiten, deren Blätter nicht untergetaucht, sondern auf der
Wasseroberfläche leben, und Spaltöffnungen besitzen. Wenn
man diese Blätter mit ihrem querabgeschnittenen Stiele unter
Wasser taucht, so treten die Gasblasen allein aus dem Stiele,
indem die benetzten Spaltöffnungen sich verschliessen. Schon
Dutrochet ¹⁵⁾ hat dies bei *Nymphaea*-Blättern gefunden. Blät-
ter von *potamogeton natans*, vollkommen im Wasser unterge-
taucht, haben mir dasselbe Verhalten gezeigt und wurden des-
halb zu meinen Untersuchungen gebraucht. In untergetauchten
Pflanzen, die keine Spaltöffnungen besitzen, entweicht das im
Lichte abgeschiedene und im Innern der Pflanze angesammelte
Gas durch Diffusion. Dies ist aber auch hier nicht immer der
Fall. Bei Pflanzen, die grössere Lufträume besitzen und an
hellbeleuchteten Orten gewachsen sind, ist die Spannung der
sich beim starken Lichte fortwährend im Innern anhäufenden
Gase so gross, dass sich in einer oder mehreren Stellen Ein-
stiche in der Pflanze bilden, durch welche dann die Gase sich
oft stürmisch ausscheiden. Ich habe Gelegenheit gehabt die-
selbe Erscheinung sehr deutlich zu sehen bei einer Menge von
Ceratophyllum demersum, das ausserordentlich üppig in dem
Genfer See bei dem Pont du Mont Blanc wächst; die nur ei-
nige Fuss grosse Tiefe und vollkommene Klarheit des Wassers
ermöglicht einen Zutritt der Sonnenstrahlen an die Pflanzen,
wie man ihn kaum irgendwo anders finden kann. Im Sommer
von 11—3 Uhr steigen über diesen Stellen Gasblasen auf, die
oft von der Grösse einer Linse sind, und sich fortwährend neu

15) Mémoires I. 341.

bildend wie eine Perlenschnur aussehen, welche von irgend einer Stelle des Stengels bis zur Oberfläche des Wassers aufsteigt. Ausserdem geben auch die Blüthen, deren Axillen mit der Reife undicht werden, Spalten für den Austritt der im Innern der Pflanze sich anhäufenden Gase, was zunächst von Knop bei *Myriophyllum* beobachtet wurde. — Für unsere Versuche wurden kleinere Stengel oder nur einzelne Blätter gewählt und besonders solche vorgezogen, die ausschliesslich nur aus der Schnittfläche des Stieles Gasbläschen ausscheideten, und bei welchen der Durchmesser des sich bildenden Bläschens grösser war als derjenige des Stieles, was in einigen Fällen für die Genauigkeit der Resultate von Wichtigkeit erscheint. Wenn nämlich der Querschnitt des Stieles gross ist (wie dies bei *potamog. nat.* oft vorkommen kann), so bildet sich auf dem Querabschnitt nicht eine Blase, sondern es bilden sich darüber mehrere, die sich eher von dem Stiele ablösen und aufsteigen als in eine zusammenfliessen, da sie bei der Grösse der Oberfläche ein beträchtlicheres Volumen einnehmen können, und dabei doch ziemlich von einander entfernt bleiben. Es wurden also in allen diesen Versuchen solche Exemplare vorgezogen, deren Stiele oder Stengel möglichst dünn waren.

In der Dunkelheit oder bei sehr schwachem Lichte kann die Pflanze mehre Tage im Wasser bleiben, ohne irgend eine durch Blasenauusscheidung wahrnehmbare Gasentwicklung zu äussern. Selbst in einem hellen Zimmer hinter der Wand zwischen zwei Fenster gestellt, hört meistens theils jede Gasauusscheidung auf, wenngleich directe Sonnenstrahlen durch beide Fenster das Zimmer stark beleuchten.

Diese Thatsache ist sehr leicht zu begreifen, wenn man, wie wir später beweisen werden, annimmt, dass die Ausscheidung proportional der Lichtintensität ist. Wenn also z. B. ein Blatt von *potamogeton natans*, oder ein ganzer Stengel von *ceratophyllum demersum*, wie es zu unsern Versuchen passte, also ungefähr zwei *décimètres* lang, oder sonst irgend eine Wasserpflanze bei vollem Sonnenschein und Beleuchtung durch das ganze Him-

melsgewölbe, eine bis zwei Gasblasen in einer Sekunde ausscheidet ¹⁶⁾, was nur in Julitagen bei 25—30° Reaum. und zwischen 11—1 Uhr bei heiterem Himmel geschieht, so müssten solche Pflanzen, an den betreffenden Ort gestellt, wo die Lichtintensität kaum einem Hundertel und viel eher einem Tausendtel des im Freien wirkenden gleich ist, nur in einigen Minuten ein Bläschen ausscheiden. Die Spannung des Gases aber, die bei solchen Umständen in den Lufträumen der Pflanze sich bildet, ist selbstverständlich sehr gering, und es folgt daraus entweder, dass das Gas höchst unmerklich, und deswegen auch nicht regelmässig in einzelnen Bläschen sich ausscheidet, oder die Ausscheidung vollkommen aufhört, indem sich die Luftgänge mit Wasser verstopfen. Bei dem schwachen, aber fortwährend dauernden Drucke haben die Gase nicht Kraft genug, um die Verstopfung zu brechen, treten daher durch Diffusion sehr langsam nach aussen und bedecken die Blätter mit einer Menge kleiner Bläschen.

Es war also möglich vorauszusehen, dass bei allen derartigen Versuchen, wo das Verhältniss der Gasausscheidung zur Lichtintensität zu untersuchen war, die angewandten verschiedenen Intensitäten nicht unter einem gewissen Minimum sein dürften, welches Minimum aber doch eine bedeutende Lichtmenge in Anspruch nehmen musste.

Um mich davon zu überzeugen, wie lange die Zahl der abgeschiedenen Blasen bei gleichen Bedingungen die nämliche sein kann, habe ich bei heiterem Wetter und vollkommen freiem Himmel um 12 Uhr Mittags in kohlen-saurem ¹⁷⁾ Brunnenwasser untergetauchte Stengel von drei verschiedenen Pflanzen den Sonnenstrahlen ausgesetzt. Die Zahl der Blasen in einer Minute nach den unten angegebenen Zeitintervallen abgelesen, waren folgende:

16) Nicht grösser als der Kopf einer gewöhnlichen Stecknadel.

17) Hier, wie in allen Versuchen, war die Kohlensäure beständig langsam eingeleitet.

I. Versuchsreihe.

Zeiten	Zahl der Bläschen in einer Minute			Temperatur des Wassers
	Ceratoph. demersum	Potamog. nat.	Ranunc. fluitans	
h. m.				
12 —	40	12	56	35° C.
12 3	40	12	56	35 „
12 5	40	12	55	35 „
12 7	36	13	56	35 „
12 17	38	12	54	35 „
12 30	40	21	56	35 „

II. Versuchsreihe.

10 45	30	15	40
10 50	33	16	41
10 53	32	16	42
10 59	32	16	42
11 3	33	15	41
11 5	33	15	39

Man ersieht aus diesen Zahlen, dass die Beständigkeit der Ausscheidung von Gasblasen, *ceteris paribus*, eine vollkommen constante blieb für einen Zeitintervall von mehr als einer halben Stunde, ohne dass man auch eine Abnahme der Constanz bemerken konnte.

Es sei hier noch eine Thatsache kurz bemerkt, von der ich an anderem Orte ausführlicher sprechen werde. Wenn man nämlich berechtigt ist, die Intensitäten der leuchtenden Strahlen für eine kurze Zeit, also z. B. eine halbe Stunde, bei vollkommen wolkenfreiem Himmel und bei einem hohen Stande der Sonne, als unveränderlich oder als wenig veränderlich zu betrachten, so ist es keineswegs derselbe Fall für die chemischen Strahlen der Sonne, deren Intensitäten sogar bei dem klarsten Himmel einer sehr auffallenden Schwankung unterworfen sind. Schon Roscoe (s. Poggendorf's Annalen der

Physik und Chemie Bd. CXXIV) deutet darauf, indem er S. 377 sagt: „Die unregelmässigen Veränderungen in der chemischen Wirkung, die an Tagen beobachtet wurden, wo die Sonne ununterbrochen schien, sind hauptsächlich der Veränderung in der Menge von Wolken zuzuschreiben, welche während der Beobachtung sich am Himmel zeigten. In einigen Fällen jedoch trat eine beträchtliche und plötzliche Veränderung ein, ohne dass das Auge einen Unterschied in der Lichtmenge bemerken konnte, wie am 26. Sept. 1864, wo der ganze Himmel den Tag über schien; um 9 Uhr 25 Minuten war die chemische Intensität 0,13 und um 10 Uhr, wo die Sonne augenscheinlich gleich hell schien, sank die Intensität auf 0,07 und blieb während einer halben Stunde so niedrig und stieg erst um 11 Uhr wieder auf 0,11; dass diese Abnahme in der chemischen Wirkung wohl von suspendirten Wassertheilchen, oder dem Auge unbemerklichen Nebel herrührt, erscheint wahrscheinlich aus der mächtig absorbirenden Wirkung, den ein leichter Nebel auf die chemischen Strahlen ausübt.“

„Am 18. März 1864 um 8 Uhr Vormittags bedeckte ein leichter Nebelschleier die Sonne, die Integrität war nur 0,0026 oder 25 mal geringer als sie es bei normaler Wirkung eines heitern Himmels für Tag und Zeit sein sollte. Es wird kaum nöthig sein, einzufügen, dass bei dieser Gelegenheit, die dem Auge sichtbare Lichtverminderung nur klein und in gar keinem Verhältnisse zu der Abnahme der chemischen Integrität stand.“

Dasselbe fand ich in meinen Arbeiten auf dem Königsstuhle (1752 F. über dem Meere) bei Heidelberg, deren Ausführung ich dem Herrn Geheimen Rath Bunsen zu verdanken habe, welcher die Güte hatte, den von Prof. Roscoe ihm zugeschiedten Apparat zu meiner Verfügung zu stellen. Dieselbe Erscheinung kann man sehr deutlich ersehen aus den hier beigefügten Curven, welche die chemischen Intensitäten für den 4. Oct. 1865 graphisch darstellen. Und zwar stellte die mit Nr. I bezeichnete Curve das Sonnen- und Himmelslicht, die mit III das Sonnenlicht vor. Diese Curven sind entnom-

men aus einer grösseren Zahl derselben, die ich für Juni, Juli und October des Jahres 1865 aufgefunden habe. Die chemischen Intensitäten des Lichtes wurden auf folgende Weise gemessen. In einem Zeitabstand von je 10—20 Minuten, wurden zu zwei Messungen gemacht, die eine bei verdeckter Sonnenscheibe, die andere aber ohne Verdeckung derselben. — Zu diesem Zwecke bediente ich mich eines, auf einer langen und dünnen Stange angebrachten, ein Fuss im Durchmesser grossen Pappdeckels, der bei jedem Versuche ungefähr 10 Fuss von dem Apparate entfernt war, ihn dabei aber vollkommen beschattete. Auf diese Weise bekam ich die chemische Lichtintensität der directen Sonnenstrahlen + Himmel, und die des Himmels allein. Durch Subtraction der zweiten von der ersten erhält man die chemische Lichtintensität der directen Sonnenstrahlen allein. Die Resultate, die man auf diese Weise bekommt, werden zum leichteren Ueberblick graphisch dargestellt, wobei man die Tagesstunden als Abscissen und die entsprechende Intensität als Ordinaten betrachtet.

Man sieht daraus, wie stark die Schwankungen der chemischen Strahlen sein können und wie schnell ihre Intensitäten wechseln, — obgleich der Himmel vollkommen wolken- und nebelfrei erscheint.

Es schien mir also von Interesse zu sein, zu untersuchen, ob die Ausscheidung der Bläschen in irgend einem Zusammenhange mit den Aenderungen der chemischen Intensitäten des Lichtes steht. Zu diesem Zweck wiederholte ich den vorigen Versuch noch mehrmals bei vollkommen reinem Himmel, maass aber dabei jedesmal die chemischen Intensitäten, und erhielt auf diese Weise eine grosse Anzahl Tabellen, von denen ich hier nur einige mittheilen will. Es ist freilich auch oft vorgekommen, dass die chemischen Intensitäten während einer halben Stunde gar nicht oder nur unmerklich schwankten. Bei weitem häufiger war aber der entgegengesetzte Fall, was jedoch die Regelmässigkeit der Ausscheidung durchaus nicht störte.

I. Versuchsreihe.

Zeit		Chemische Intensität	Zahl der Blasen in einer Minute			Temperatur
h.	m.		Cerat. dem.	Ranunc. fluitans	Potamog. natans.	
11	30	0,40	36	26	14	27° C.
11	50	0,26	35	27	15	27 "
12	—	0,27	34	25	14	27 "
12	10	0,44	33	25	15	27 "
12	20	0,55	36	26	15	27 "
12	30	0,60	35	26	14	27 "

II. Versuchsreihe.

12	—	0,51	45	29	18
12	5	0,52	44	30	18
12	10	0,51	44	30	18
12	15	0,51	45	29	17
12	20	0,51	44	29	18

III. Versuchsreihe.

11	15	0,60	29	20	20
11	20	0,54	29	20	20
11	25	0,45	30	21	20
11	30	0,27	29	22	21
11	40	0,25	31	21	19

Wir sehen in dem Versuche Nr. I, dass die chemische Intensität von 0,40 auf 0,26 herunterfällt; sie wird später zu 0,60. — Die Zahlen der Gasblasen bleiben aber überall wenig oder gar nicht verändert. Dasselbe finden wir im Versuche Nr. III, wo die chemischen Intensitäten fortwährend abnehmen, die Gasausscheidung jedoch die nämliche bleibt.

Aus diesen und aus vielen andern auf dieselbe Weise angestellten Versuchen ist man berechtigt zu schliessen, dass die starken Schwankungen in den Intensitäten der chemischen Strah-

len keinen merklichen Einfluss auf die Ausscheidung der Gase aus den genannten Pflanzen ausüben — ein Satz, der seine Bestätigung in der, von den meisten Forschern anerkannten und durch andere Methoden gefundenen Thatsache findet, dass die Zersetzung der Kohlensäure durch grüne Theile der Pflanzen nicht sowohl durch die sogenannten chemischen als durch die leuchtenden Strahlen des Spectrums bedingt ist. — Man könnte mir freilich erwidern, dass in diesem Falle die Ausscheidung der Gase zu einem Maximum der Schnelligkeit schon durch geringe chemische Lichtintensität gekommen sei, so dass die nun auftretenden Schwankungen der chemischen Strahlen keinen Einfluss, wenn auch dieselben durch chemische Strahlen bedingt wären, auf die Ausscheidung ausüben könnten. Indessen brauchte man den Winkel, unter welchem die Sonnenstrahlen auf die Pflanzen auffielen, nur um ein Geringes zu verändern, indem man den sie enthaltenden Apparat verschob, um schon eine sehr merkliche Ab- und Zunahme der Schnelligkeit in der Ausscheidung zu bemerken.

Diese Thatsache ist bis jetzt noch nicht genügend hervorgehoben, obgleich sie, wie gesagt, fast von allen Forschern, die auf diesem Gebiete gearbeitet haben, hinlänglich festgestellt ist, und zwar schon seit einigen Jahrzehnten, von Draper¹⁸⁾, Daubeny¹⁹⁾, Gardner²⁰⁾, Cloëz und Gratiolet²¹⁾, Rob. Hunt²²⁾, Knop²³⁾ u. A.

Draper zeigte das Verhältniss der Gasausscheidung bei Pflanzen zu den verschiedenen Strahlen des Sonnenlichts. Er

18) A treatise in the forces which produce the organisation of plants. Appendix 177.

19) Philosophical Transactions vol. CXXVII. 1836.

20) Froriep's Notizen 1844. 13 d. 30. Nr. 11.

21) Annales de Chem. et de Physic. 3 sér. T. XXXII. 1851.

22) Schon im J. 1847.

23) Bestätigt dies auch in seiner Schrift über das Verhalten einiger Wasserpflanzen zu Gasen. 1853.

bestimmte für Roth 0,0; für Roth und Orange 24,75; für Gelb und Grün 43,47; Grün und Blau 4,10; Blau 1,0; Indigo 0,0. Daubeny und Gardner's Arbeiten bestätigten die Thatsache, dass die Gasausscheidung nicht den chemischen Strahlen proportional gehe, d. h. in keiner Proportionalität mit der Einwirkung des Lichtes auf Chlorsilber steht.

Im Jahre 1850 fanden Cloëz und Gratiolet, dass die Zersetzung der Kohlensäure im gelben Lichte (wo also am wenigsten chemische Strahlen vorhanden waren) am stärksten war, darauf folgte das Milchglas, das rothe, das grüne und endlich das blaue, wo fast alle chemische Strahlen durchgehen. Später kam noch die Arbeit von Guillemain²⁴⁾ hinzu, die die früheren Arbeiten von Gardner vollkommen bestätigte, und hauptsächlich die Thatsache feststellte, dass das Ergrünen oder die Chlorophyllbildung am stärksten im gelben Strahle und abnehmend je mehr man sich von diesem entfernt stattfindet. — Endlich wurde dieselbe bestätigt auch durch die schöne Arbeit von Julius Sachs, die ihn zu folgender Behauptung geführt hatte: „Das gemischte orange Licht, dessen Einfluss auf photographisches Papier während der Beobachtungszeit unmerklich war, leistete bei der Gasabscheidung eben so viel wie das weisse Licht; während dagegen das blaue, trotz der energischen Bräunung des photographischen Papiers, nur unbedeutend auf die Pflanze einwirkte.“

Dies Alles half nicht, um in den Augen des Herrn Schumacher die chemischen Strahlen etwas zu erniedrigen und die leuchtenden bemerken zu lassen. Er geht in seinem Werke „die Ernährung der Pflanze 1864“ so weit, dass er sogar den Herren Cloëz und Gratiolet seine eigene Meinung aufbürden will, die aber mit der von ihnen ausgesprochenen nur das gemein hat, dass sie gerade das Gegentheil davon ausspricht. Er sagt nämlich S. 449:

24) Production de la Chlorophylle etc. Annales des sciences nat. 1857. VII.

„Die assimilirende Kraft des Lichtes beruht vorzüglich auf
 „den chemischen Strahlen desselben. Nach Gratiolet und
 „Cloëz ist die Sauerstoffentwicklung grüner Pflanzentheile
 „am schwächsten im gelben und rothen Lichte, am lebhaft-
 „testen in blauem und violettem (!). Ueberhaupt ist die
 „assimilirende Thätigkeit eine durch die chemischen Strahlen
 „des Lichtes eingeleitete Zersetzung anorganischer Stoffe.“ —

Ich stellte darauf einige Versuche mit drei verschieden gefärbten Gläsern an, deren Durchdringlichkeit für chemische Strahlen ich früher mittelst des Roscoe'schen Apparats gemessen hatte. Den Apparat selbst hier zu beschreiben, halte ich für nicht zweckmässig, erstens darum, weil er von Roscoe selbst in den Annalen der Physik und Chemie Bd. CXXIV ausführlich beschrieben ist, und zweitens, weil eine blos kurze Beschreibung desselben ohne die entsprechenden Zeichnungen meiner Meinung nach doch nicht deutlich genug sein kann, um den Apparat vollkommen begreiflich und anschaulich zu machen. Es sei hier nur bemerkt, das mittelst des Roscoe'schen Apparats und zweckmässigen Gebrauchs des nach Bunsen und ihm ermittelten photographischen (Chlorsilber-) Papiers, man an einem jeden beliebigen Orte und zu jeder Zeit die chemischen Lichtintensitäten in einer gegebenen Maasseinheit ausdrücken kann.

Das zum Versuche gewählte *Ceratophyllum demersum* wurde nicht wie bei Sachs in ein cylindrisches Gefäss, sondern in einen mit parallelen Glaswänden versehenen Kasten aus Blech eingesetzt (Fig. 1. Taf. III). In einer Ecke des Apparats befand sich das Thermometer, in der andern die Röhre, welche Kohlensäure fortwährend dem Wasser zuleitete. Bei jedem Versuche wurde die hintere und die obere Seite des Apparates mit geschwärzter Pappe verdeckt und bloss ein schmaler Spalt offen gelassen, um die Blasen zählen zu können. — Es wurden darauf die verschieden gefärbten Gläser, deren Fähigkeit, chemische Strahlen durchzulassen, vorher genau bestimmt worden war, abwechselnd und wiederholt vor

die Glaswand ab aufgestellt und nach Ablauf je einer Minute, die Ablesungen gemacht. Auf diese Weise erhielt ich folgende Resultate:

Gläser.

Relative Menge chem. Strahlen	Weiss 1,0000	Roth 0,0001	Blan 0,8500	Temperatur.
um 11 Uhr — M.	80 Bl. in 1 M.	50 Bl. in 1 M.	21 Bl. in 1 M.	} 31° C.
„ 11 „ 5 „	82 „	53 „	21 „	
„ 11 „ 10 „	78 „	52 „	21 „	
20 Minuten darauf				
um 12 Uhr 30 M.	80 „	55 „	20 „	} 31,5° C.
„ 12 „ 35 „	76 „	50 „	21 „	

Darauf wurde ein Blatt von *potamogeton natans* eingesetzt:

12.50	50	30	13	Die Tempe- ratur schwankte von 31,5° C. bis 32° C.
12.53	52	31	14	
12.57	51	32	13	
1—	51	32	13	
1—5	25	31	14	
1—8	50	32	13	

Darauf *Ranunculus fluitans*.

1—20	81	55	23	} 32°,5 C.
1—25	83	52	22	

Wenn ich zwar aus diesen Versuchen gar keine Endschlüsse über die Wirkung der farbigen Strahlen auf die Gasausscheidung zu ziehen gesonnen bin, was ja schon bei Sachs viel ausführlicher und genauer untersucht worden ist, so lege ich ihnen doch insoferne einen Werth bei, als sie recht deutlich zeigen, wie wenig die verschiedenen Intensitäten der chemischen Strahlen eine Wirkung auf die Ausscheidung der Gase ausüben, und dies um so mehr, da wir ja bis jetzt keine ge-

naue Methode besaßen, um diese chemischen Intensitäten auf eine so zuverlässige Weise zu messen, wie dies mit dem Roscoe'schen Apparat geschehen kann.

Jede Ablesung, wie ich schon früher bemerkte, wurde erst gemacht, nachdem die Pflanze eine Minute lang der Einwirkung des vorgesetzten Mediums bereits ausgesetzt worden. Dies war auch die von Sachs angegebene Zeit, und ich habe sie als richtig gewählt gefunden, zumal dann, wenn die Gasentwicklung eine ziemlich rasche war, nämlich ungefähr, wenn die Gasblasen bis 15 und mehr in der Minute aus der Pflanze ausströmten; wenn aber die Abscheidung langsamer erfolgte, so war eine Minute Zeitintervall nicht genügend, um die Abscheidung vollkommen gleichmässig hervorzurufen und man ward oft 2—3 Minuten zu warten genöthigt.

Aus diesen Versuchen sind auch wir berechtigt zu schliessen, dass die Intensität der Gasausscheidung aus den genannten Pflanzen in keinem nachweisbaren Verhältniss zu den Intensitäten der chemischen Strahlen des Spectrums allein steht.

Es sei hier noch beiläufig bemerkt, dass das Ergrünen, also die Zersetzung der Kohlensäure, sogar in Natriumflamme stattfindet. Ich stellte einen Topf mit etiolirtem, eine Woche altem *Lepidium sativum* vor eine entfärbte Gasflamme in einer Entfernung von etwa 8" und setzte in die Flamme eine Perle von kohlensaurem Natron auf einem Platindrahte hinein. Sobald eine Perle sich verflüchtigt hatte, wurde sie sogleich durch eine andere ersetzt, was übrigens nicht rascher als ungefähr nach Verlauf je einer Stunde geschehen konnte. Die auf diese Weise erhaltene blassgelbe Flamme verhält sich in photo-chemischer Beziehung so indifferent, dass man die durch eine grosse Sammellinse concentrirten Strahlen, Stunden lang auf sensibles Papier (Chlorsilber) ohne Nachtheil wirken lassen kann ²⁵). Die Kresse färbte sich in diesem Lichte ohne

25) Photochemische Untersuchungen von Bunsen und Roscoe. *Annalen der Physik und Chemie*. Bd. CXVII S. 535.

irgend eine Concentration desselben durch Sammellinsen binnen 7—8 Stunden in ein schönes Grün an allen Stellen, wo das Licht die Blätter traf, die beschatteten Stellen jedoch blieben unverändert. Es darf also nicht merkwürdig erscheinen, dass die Kresse bei P. de Candolle²⁶⁾ bei dem Lichte von 6 Argandischen Lampen ergrünte, und dass Roggenblätter sich bei Hervé Mangon²⁷⁾ in dem Lichte eines mächtigen elektrischen Leuchtapparates intensiv grün färbten. — Im Dezember bei einem vollkommen heiteren Himmel, brauchte ein Topf mit Kresse vors Fenster gestellt, und bei direkter Beleuchtung durch Sonnenstrahlen ungefähr dieselbe Zeit zum Ergrünen, wie in dem Natriumlichte. — Die Temperatur war in beiden Fällen 15—16° R. Wenn man berechnen wollte, wie die chemischen Lichtintensitäten, welche in den beiden Fällen gewirkt haben, sich zu einander verhielten, so würde man dieselben für das Natriumlicht kaum in den milliontelsten Theilen derjenigen, die dem Tageslicht zukommt, ausdrücken können. Wenn wir also nicht berechtigt sind, durch diese Versuche den Schluss zu ziehen, dass die Bildung des Chlorophylls von Strahlen chemischer Natur gar nicht abhängig ist — denn es muss zugestanden werden, dass wir überhaupt nicht im Stande sind die leuchtende Kraft von der chemischen vollkommen zu befreien (sogar in dem Natriumlichte sind blaue und andere Strahlen vorhanden) — so können wir doch nicht an der Richtigkeit der oben angeführten Thatsache zweifeln, dass also die Chlorophyllbildung in keinem nachweisbaren Verhältniss zu den Intensitäten des chemischen Lichtes steht.

26) Mém. prés. à l'institut des sc. par divers savans: Math. et phys. 1806. T. 1. p. 332.

27) Comptes rendus 1861. p. 243.

Abtheilung II.

Nachdem ich mittelst solcher Voruntersuchungen mich vollkommen mit der Methode vertraut gemacht und die von Sachs begründeten Thatsachen bestätigt gefunden hatte, unternahm ich die Lösung der Frage: In welchem Verhältniss die Ausscheidung der Gase durch die genannten Pflanzen zur Intensität des auf sie einwirkenden gesammten Lichtes stehe?

Zu diesem Zwecke habe ich einen einfachen Apparat construirt, der mir die Möglichkeit gab, die zur Untersuchung gewählten Pflanzentheile mit Leichtigkeit an solche Stellen zu bringen, wo die Intensitäten des Lichtes verschieden und bekannt waren. Diese Vorrichtung besteht aus einem Schlittenapparat BF (Taf. III. Fig. 2), auf dem sich zwei zu ihm senkrecht gestellte Holzrahmen befinden, von denen der eine A am Ende des Schlittens fest angeschraubt, der andere C aber auf demselben verschiebbar ist. Die beiden Rahmen sind durch papierne, gefaltene blasebalg- oder harmonikaähnliche dehnbare Wände mit einander verbunden, bilden also einen viereckigen Kasten und können auf diese Weise nach Belieben einander genähert oder von einander entfernt werden, ohne dadurch ihren gegenseitigen Parallelismus zu verlieren. An dem unbeweglichen Rahmen AB ist eine Zinkplatte mit einem eingesetzten, mattgeschliffenen, runden Glase (mn) angebracht. Das Licht, welches durch das Glas mn auf Wand CD fällt, wird noch dadurch verstärkt, dass man einen grösseren Spiegel auf

den in der verticalen Ebene einstellbaren Rahmen PQ auflegt. Da aber der ganze Apparat in der horizontalen Ebene leicht beweglich ist, so kann man zu jeder Zeit ein Maximum der Beleuchtung auf der Fläche CD erhalten. In dieser hintern Wand (CD) ist ein Einschnitt angebracht, in den man den schon oben erwähnten Apparat (Fig. 1. Taf. III) mit dem Thermometer und mit der die Kohlensäure zuführenden Röhre einstellt, wie es aus Fig. 3 zu ersehen ist. Der Durchmesser des Mattglases muss im Verhältniss zu der Länge des zu untersuchenden Pflanzentheil genügend gross sein, damit die Lichtintensität in allen Theilen, bei jeder Entfernung der beiden Rahmen von einander, fast genau dieselbe bleibt, was vorher experimental bestimmt und gemessen werden muss.

Der Schlitten ist mit einem graduirten Papierstreifen versehen, so dass der bewegliche Rahmen wiederholt auf eine beliebige Entfernung vom Glase aufgestellt werden kann. Auf diese Weise kann man die verschiedensten Intensitäten erhalten, und wenn man bei vollkommen heiterem Himmel arbeitet und die Dauer einer jeden Versuchsreihe nicht länger als 15 bis 30 Minuten währen lässt, so kann man leicht entweder die den verschiedenen Entfernungen entsprechenden relativen Intensitäten berechnen, indem man die Sätze zu Hülfe nimmt, dass die Intensitäten proportionell dem Sinus des Winkels und umgekehrt proportionell den Quadraten der Entfernung sind, oder dieselben mit dem Roscoe'schen photographischen Papiere messen. Das letztgenannte ist jedenfalls viel einfacher, leichter und zuverlässiger. Die mattgeschliffenen Gläser, sie mögen noch so genau und sorgfältig bearbeitet sein, sind nie in allen Punkten ihrer Oberfläche gleich hell und zerstreuen das durch sie hindurchgehende Licht immer ziemlich unregelmässig, so dass in diesem Falle bei weitem zuverlässiger, und ich möchte sagen einzig zuverlässig ist, die Intensitäten jedesmal experimental zu prüfen. Ausserdem braucht man dabei nicht so viel Sorge zu tragen, was die Genauigkeit des Schlittenapparats selbst betrifft, welche im anderen Falle, wenn man

aus den Entfernungen die Intensitäten berechnen wollte, unbedingt nothwendig wäre, und dies um so mehr, da ja eine verrückung der Wand CD um einige Zoll genügend ist, um schon die Intensität des sie treffenden Lichtes sehr beträchtlich zu vergrössern oder zu schwächen.

Die Versuche wurden folgendermaassen angestellt: Die Fläche mn wurde als gleich intensiv leuchtend betrachtet, was man für 15—30 Minuten und bei vollkommen wolkenfreiem Himmel anzunehmen berechtigt ist. Nachdem der ganze Apparat für die Beleuchtung zweckmässig aufgestellt und die ausgesuchten Pflanzen hineingelegt waren, wurden die Blasen gezählt und dabei dicht hinter der äusseren Glaswand des Apparates Fig. 1 die chemischen Strahlen mittelst des Roscoe'schen photographischen Papiers gemessen. Die Stellung, wo man die Messung machte, war der Pflanze so nahe wie möglich gewählt, jedoch so, dass dieselbe durchaus keine Störung in dem Zutritt der Strahlen von der ganzen Scheibe mn zum betreffenden Ort hervorbringen konnte. Zum Beispiel ist der Punkt o auf der Fig. 3 angegeben. Der bewegliche Rahmen wurde auf diese Weise fortwährend hin- und hergerückt, und in jeder neuen Entfernung die Zahl der Blasen in einer Minute bestimmt und eine Messung der chemischen Strahlen hinter der äusseren Glasscheibe gemacht. Keine Versuchsreihe dauerte länger als 15 Minuten. In allen diesen Fällen stellen uns die relativen Intensitäten der chemischen Strahlen die relative Intensität aller Strahlen überhaupt vor, unter der Voraussetzung jedoch, dass die 15 Minuten lang auf dieselbe Scheibe mn eingewirkt habenden chemischen Strahlen ebenso unverändert blieben, wie die leuchtenden. Letzteres ist aber nicht immer der Fall, darum wurde der Controle wegen, das chemische Licht noch ausserdem im Freien gemessen. Wir führen hier anfangs nur diejenigen Versuche vor, bei welchen die letztgenannte Bedingung erfüllt worden war. Während der einzelnen Versuche wurde die Temperatur des Wassers gleich erhalten, indem man es vorher längere Zeit in dem Apparate verweilen liess.

Die ganze bewegliche Seite CD wurde bei der Untersuchung selbst mit einem schwarzen Tuche bedeckt, um jedes andere Licht abzuhalten. Auf diese Weise erhielt ich folgende Resultate:

I. Versuchsreihe.

Ceratophyllum demersum.

Zeiten.	Gemessene Lichtintensität.	Zahl der Bläschen in der Minute.
h. m.		
12 —	8	16
12 2	12	25
12 4	20	41
12 6	8	15,5
12 8	12,5	25
12 10	21	42

Ich wiederholte auf diese Weise alle drei Ablesungen mehrmals und nahm das Mittel davon. Alle mit dem *Ceratophyllum* gemachten Versuche kann man in folgender Tabelle resumiren, wobei jede Reihe von Ablesungen ein Mittelwerth aus wenigstens zwei Beobachtungen darstellt.

Die erste Columne zeigt die Intensität des Lichtes, die zweite die Zahl der Bläschen, die dritte enthält die berechneten Quotienten. Zu jedem neuen Versuche wurde ein anderes Exemplar der Pflanze genommen. Temperatur und Zeit sind nicht angegeben, weil bei jeder einzelnen Versuchsreihe die Temperaturen nicht merklich von einander differirten und die Zeiten bei der Arbeit keinen Werth haben. In jedem Falle wurden sie alle zwischen 11 und 12 Uhr angestellt, also dann, wenn die Sonne am stärksten wirkt.

Ceratophyllum demersum.

Versuchs- reihe.	Gemessene Lichtintensi- tät.	Zahl der Bla- sen in einer Minute.	Quotienten.
I	80	16	5,0
	120	25	4,8
	200	41	4,8
II	60	20	3,0
	160	50	3,2
	70	22	3,2
	150	50	3,0
III	100	62	1,6
	60	46	1,3
	30	19	1,6
	70	50	1,4
IV	110	50	2,2
	80	40	2,0
	60	25	2,4
V	128	50	2,4
	67	21,5	2,3
VI	100	25	4,0
	200	50	4,0
	150	36	4,1
	120	30	4,0

Die äussern chemischen Intensitäten
schwanken bei jeder einzelnen Versuchs-
reihe nicht merklich.

Schon bei dem ersten Blick auf diese Tabellen fällt uns die Proportionalität zwischen den Intensitäten und der Zahl der Bläschen ins Auge. Wenn auch einige Quotienten nicht vollkommen mit einander übereinstimmend sind, so glaube ich doch vollständig berechtigt zu sein die Schlussfolgerung aus diesen Zahlen ziehen zu dürfen, dass die Ausscheidung der Gase durch das Ceratophyllum demersum direkt

proportional der Lichtintensität ist. — Ich sammelte das Gas von fünf verschiedenen Pflanzen, die ebenfalls eine sehr constante Proportionalität in der Entwicklung des Gases zum Lichte zeigten. Dieselben waren von einem verschiedenen Alter und Grösse gewählt. Die Analyse der Gase ergab folgende Zusammenstellung:

in 100 Theilen

I	II	III	IV	V	
54	66	71	87	98	Sauerstoff
46	34	29	13	2	Stickstoff
100	100	100	100	100	

Kohlensäure ist hier nicht in Betracht gezogen. Sie betrug in allen Fällen kaum 1—2 % des gesammelten Gases.

Hieraus schliessen wir, dass die Zusammensetzung des sich ausscheidenden Gases in keiner Beziehung zu der Ausscheidungsgeschwindigkeit steht, dass also die Proportionalität zwischen derselben und der Intensität des Lichtes bei jeder Zusammensetzung des sich im Innern der Pflanzen befindenden Gases stattfindet.

Weiter unternahm ich ganz ähnliche Versuche mit dem *potamogeton natans*.

Es lässt sich mit dieser Pflanze nur bei ziemlich intensivem Lichte gut arbeiten, weil die Blasen sehr gross werden, da die Stengel überhaupt ziemlich dick sind und eine breite Schnittfläche der Abscheidung darbieten, so dass man nur bei starkem Lichte eine schnelle Aufeinanderfolge der Blasen hervorbringen kann, was ja, wie ich schon vorher bemerkte, einen wesentlichen Einfluss auf die Regelmässigkeit der Abscheidung ausübt. Man sucht freilich, wie schon früher erwähnt, solche Blätter aus, die mit dünnen Stielen und überhaupt ganz gesund und ohne Risse sind. Es kommt dann und wann vor, dass irgend eine oder mehrere auf der obern Seite des Blattes sich

befindende Spaltöffnungen, die bei der Untertauchung unter das Wasser sich in der Regel verschliessen, sich öffnen. In diesem Falle hört die Gasausscheidung aus dem Stiele momentan auf, und sie wird sofort hergestellt, wenn nur die sich über einer Spaltöffnung gebildete Gasblase in die Höhe entweicht. Wenn sich also eine solche Blase auf irgend einer Stelle des Blattes zeigte, so wurde der Versuch mit diesem Blatte entweder ganz unterbrochen, oder ich wartete ab, bis das Blatt von Neuem durch den Stiel das Gas ausschied. Indessen kommen derartige Störungen nicht sehr oft vor, und in bei weitem grösserer Anzahl der Fälle ging die Gasausscheidung durch den Stiel, so dass wir also das *potamogeton natans* als sehr zweckmässig für unsere Versuche bezeichnen können. Die Blätter des *potamogeton natans* bieten der Beleuchtung eine grosse ebene Fläche dar, was ja immer sehr wünschenswerth ist, und können leicht in einer gegebenen Richtung gestellt sein, ohne die Stellung bei der Bewegung des Apparates nur auch im Geringsten zu ändern, und ohne die gläsernen Wände des Apparates Fig. 1 zu berühren. — Dazu braucht man nur das Blatt, bei seiner Spitze mit einem passenden eisernen Nagel durchgestossen, in das Wasser zu bringen. Der schwere Nagel sinkt zu Boden, hält das Blatt bei der Spitze fest und zwingt es dadurch eine verticale Stellung anzunehmen, wie Fig. 4. Taf. III zeigt. Auf diese Weise ist es leicht dem Blatte eine jede beliebige Stellung zu geben und auch dieselbe dauernd zu erhalten. —

Vor der Anstellung der analogen Versuche mit dem *potamogeton natans* prüfte ich, wie lange überhaupt das *potamogeton natans* gleichmässig functioniren konnte.

Zu diesem Zwecke wählte ich zwei Punkte auf dem Schlittenapparate. Die Lichtintensität auf dem Rahmen CD, wenn ich ihn auf einen von diesen Punkten stellte, war zweimal grösser als diejenige, welche ihm in dem anderen zukam. Der Himmel war vollkommen nebel- und wolkenfrei. Die chemischen Intensitäten waren auch draussen gemessen. Wir be-

kamen eine Menge von Versuchsreihen, von denen ich hier nur diejenigen mittheile, bei welchen die chemische Intensität des Lichtes im Freien dieselbe geblieben war. — Der Versuch selbst dauerte 12 Minuten, da ja jede Ablesung erst nach je einer Minute nach der Aufstellung des Rahmens in dem gewählten Punkte des Schlittenapparates geschah. Ich bekam nun folgende Zahlen:

Potamogeton natans.

Zahl der Blasen in 30 Secunden

bei

Intensität I	Intensität II	Quotienten
12	22	1,83
11	22	2,00
12	22	1,83
12	21	1,75
12	21	1,75
11	21	1,90
12	22	1,83

Mit diesem Resultate vollkommen befriedigt, stellte ich nun die vorher beschriebenen Versuche, und zwar ganz auf dieselbe Weise wie mit dem *ceratophyllum demersum*, an, und gelangte dabei zu folgenden Ergebnissen:

Potamogeton natans.

Versuchsreihe	Intensität des Lichtes	Zahl der Blasen in einer Minute	Quotienten
I	108	30	3,6
	51	15	3,4
	108	28	3,8
II	160	34	4,7
	230	49	4,7
	180	37	4,8
	75	18	4,2

Versuchsreihe.	Intensität des Lichtes.	Zahl der Blasen in einer Minute	Quotienten
III	185	55	3,4
	120	35	3,4
IV	150	56	2,6
	89	32	2,8
V	110	36	3,1
	53	17	3,1

Diese Tabelle bestätigt vollkommen den oben ausgesprochenen Satz über die Proportionalität zwischen Lichtintensität und Gasausscheidung, und ist obendrein noch viel beweisender, da ja die Quotienten in jeder einzelnen Versuchsreihe auffallend nahe gleich sind.

Darauf nahm ich den *ranunculus fluitans* und untersuchte ihn gleichzeitig mit dem *potamogeton natans* zusammen, wobei mir das *potamogeton* selbst als Maassapparat diente. Die beiden Pflanzen wurden neben einander gestellt, wie Fig. 4 zeigt. Ich muss hier hinzufügen, dass der *ranunculus* zu ähnlichen Versuchen ausgezeichnet passt, weil die Ausscheidung ungemein regelmässig und schnell vor sich geht. Ich bekam folgende Resultate:

Während derselben Zeiteinheit:

Potamogeton	Ranunculus	Quotienten
20	36	1,8
16	28	1,8
24	38	1,6
35	52	1,5
15	28	1,9
25	38	1,5

Ich hatte keine Gelegenheit noch mehr mit diesen Pflanzen zu arbeiten, da die Kälte, welche bald darauf eintrat, dieselben sehr angegriffen hatte, so dass man nur mit Schwierig-

keit einzelne gesunde Exemplare aussuchen konnte. Das ceratophyllum war schon schmutziggrün geworden, die Gasausscheidung blieb entweder vollkommen unterbrochen, oder war so schwach, dass sie nur bei sehr starkem Lichte stattfand.

Es ist klar, dass alle Lebensvorgänge in jedem Alter einer Pflanze verschieden sein müssen, dass also das Verhalten der Pflanze zu ihren Nahrungsstoffen sich immer ändert. Es ist z. B. möglich, dass eine Pflanze in der Jugend irgend einen Stoff aufnimmt oder ausscheidet, dessen Gewicht oder Volumen zu dem Gewichte oder Volumen der Pflanze in irgend einem Verhältnisse x steht; später ändert sich dies Verhältniss, wird zu $\frac{x}{2}$, $\frac{x}{3}$, $\frac{x}{4}$ u. s. w., es scheint aber wenigstens in Bezug auf die hier zu untersuchende Gasausscheidung, dass in allen diesen verschiedenen Momenten des Lebens einer Pflanze, diese x , $\frac{x}{2}$, $\frac{x}{3}$, auf dieselbe Weise durch den äusseren Einfluss, das Licht, modificirt werden. Alle Pflanzentheile und Blätter, die ich untersucht habe, waren von sehr verschiedenem Alter, die Versuche selbst dauerten je 2—3 Monate, das Verhältniss aber der Gasausscheidung zur Lichtintensität, wie aus allen oben angeführten Versuchen zu ersehen ist, blieb immer dasselbe.

Indem ich hier keine Analogie in dem Verhalten zwischen Wasser- und Landpflanzen zum Lichte ziehen will, begnüge ich mich vorläufig folgende Sätze auszusprechen:

- 1) dass die Ausscheidung der Gase aus Wasserpflanzen direkt proportional der Intensität des Lichtes überhaupt ist;
- 2) dass dasselbe Verhalten bei jeder Zusammensetzung der ausgeschiedenen Gase stattfindet.

Wie wenig aber diese Ausscheidung durch die Schwankung der Intensität der chemischen Strahlen beeinflusst wird, und wie constant die Ausscheidung bleibt, wenn nur die anderen Theile des Spectrums sich nicht ändern, das haben wir schon früher gesehen. Die Arbeiten aber mit dem hier zu-

letzt beschriebenen Apparate haben mir dieselbe Thatsache noch viel deutlicher gezeigt. Die Versuchsreihen nämlich, die hier bis jetzt angeführt worden sind, beziehen sich nur auf die kleinere Anzahl davon, bei welchen die äussere auf die Scheibe wirkende Intensität sich nicht während der Anstellung derselben geändert hatte. Es war aber eine bei weitem grössere Anzahl solcher, bei denen die chemischen Strahlen im Laufe der angeführten 15 Minuten stark schwankten, wobei aber die Ausscheidung der Blasen vollkommen diejenige blieb, welche stattgefunden hatte, wenn keine Schwankung derselben vorhanden war. Ich führe hier nur einen solchen Versuch als Beispiel an. Der Himmel war vollkommen wolken- und nebelfrei.

Ich untersuchte die chemische Intensität in dem Mittelpunkte der Fläche CD (Fig. 2. Taf. III.) in einer gewissen Entfernung derselben von der Scheibe mn und gleichzeitig die äussere chemische Intensität und erhielt

für die

äussere

innere

60

12

Gleich darauf rückte ich die Fläche CD weiter von dem Glase ab, und untersuchte wieder die beiden Intensitäten,

bekam für die

äussere

innere

60

4

Daraus war zu schliessen, dass die Lichtintensitäten überhaupt in den beiden gewählten Entfernungen sich wie 3 : 1 verhielten. Eine Pflanze, die zum Versuche diente, gab, wie es auch zu erwarten war, bei 50 Blasen im ersten Fall, nur 16 im zweiten in der Minute. Nun wurde die Pflanze fortwährend mit dem Rahmen von einer zur andern Stelle hin und her geschoben. — Die Zahl der Blasen wurde überall gezählt und die chemischen Intensitäten ausser dem Apparate gemessen. Wir erhielten auf diese Weise und bei diesem Versuche folgende Resultate:

Chemische Intensitäten ausserhalb		Zahl der Blasen bei Intensität 1	Zahl der Blasen bei Intensität 3
	60	17	50
nach 2 Minuten	53	16	51
" 2 "	40	17	52
" 3 "	44	16	49
" 3 "	45	17	52
" 2 "	40	17	50

Man sieht hier recht deutlich, wie wenig die Schwankungen der chemischen Intensitäten auf die Ausscheidung der Gase eingewirkt haben, obgleich die letzte für die Schwankungen der Lichtintensitäten überhaupt sich sehr sensibel zeigte.

Während ich nun, wie gesagt, von diesen beiden für die Wasserpflanze aufgefundenen Thatsachen keine Uebertragung auf die Ausscheidung der Gase durch die Blätter und grünen Theile der Stengel der Landpflanzen unternehmen will, werde ich hier nur Einiges in Betreff der letzteren mittheilen, wozu ich schon im vorigen Jahre gelangt bin. Ich konnte damals den gefundenen Resultaten keinen so genügenden Werth beilegen, um sie vereinzelt im Drucke erscheinen zu lassen, glaube aber, dass hier, wo es sich vorzugsweise um die Wirkungen von verschiedenen Lichtintensitäten auf die Pflanzen handelt, ein passender Ort zur Erwähnung ist.

Schon im vorigen Jahre habe ich versucht das Verhalten der Pflanzen zum Lichte verschiedener Intensitäten zu untersuchen. Ich construirte zu diesem Zwecke einen Apparat, der mir die Möglichkeit gab Pflanzen, *ceteris paribus*, nur unter verschieden intensivem Lichte wachsen zu lassen. Er bestand aus einem grösseren Kasten ohne Boden, der in sechs gleich grosse quadratische Abtheilungen durch Querwände getheilt ward. In jede von diesen Abtheilungen gelangte das Licht nur von einer Seite, nämlich von oben her. Um aber jeder Abtheilung verschiedene Intensitäten des Lichtes, und diese in einem bekannten Verhältniss zukommen zu lassen, wurde folgende Einrichtung angebracht. Die obern Decken waren

aus Blech angefertigt, in welchem verschiedene kreisförmige Oeffnungen ausgeschnitten waren, deren Durchmesser sich zu einander wie

$$1 : \frac{1}{\sqrt{2}} : \frac{1}{\sqrt{3}} : \frac{1}{\sqrt{4}} : \frac{1}{\sqrt{5}}$$

die Oeffnungen selbst also wie $1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \frac{1}{4} : \frac{1}{5}$ verhielten. Diese Oeffnungen wurden mit mattgeschliffenen Gläsern bedeckt, damit alle Strahlen, die darauf fielen, wenn auch dieselben direkt von der Sonne kamen, im inneren Raume zerstreut wurden. Durch Berechnung und Experiment wurde diejenige für die kleinste Oeffnung passende Entfernung von dem Boden ermittelt, und darnach die Höhe des Kastens bestimmt, welche nothwendig war, damit eine gewisse, für die Aussaat der Pflanze bestimmte Fläche möglichst gleichmässig beleuchtet wurde. Dies untersuchte ich vermittelst eines Photometers, den ich zu diesem Zwecke construirte und der der Hauptsache nach dem Riccischen Photometer gleich war. Ich prüfte zuerst seine Sensibilität und fand, dass er bei Veränderungen der Lichtintensitäten bis zu 13% fehlerhaft sein konnte. Um also den Fehler bei der Bestimmung der gleichmässig beleuchteten Fläche möglichst zu verkleinern, habe ich den, durch diesen Photometer als gleich in allen Punkten beleuchtet bestimmten Durchmesser, bei derselben Entfernung vom mattgeschliffenen Glase zweimal verkleinert. Selbstverständlich war die auf diese Weise ermittelte Höhe der betreffenden Abtheilung um so mehr für alle andern, mit grösseren Oeffnungen versehenen, passend. — Leider war ich damals noch nicht in dem Besitze des Roscoe'schen Apparats, so dass eine derartige Construction ziemlich beschwerlich und zeitraubend war. Mit Hülfe des Roscoe'schen Apparates würde dieselbe nicht nur sehr leicht ausführbar, sondern auch sehr genau und schnell zu machen gewesen sein. Der ganze Kasten wurde auf einen anderen breiteren, und mit Erde gefüllten aufgestellt. Die einzelnen Abtheilungen waren sowohl zwischen einander als auch mit der äusseren Luft durch breitere knieförmig gekrümmte Röhren verbunden,

die die Circulation der Luft ermöglichten, ohne das Licht von aussen und zwischen den Abtheilungen eindringen zu lassen.

Ausserdem wurden noch andere Einrichtungen angebracht, mit Hülfe deren man die Pflanzen nach Belieben oft sehen und die Temperatur in dem inneren Raume messen konnte. — Die letztere blieb nur dann bis zu 1° gleichmässig, wenn man die beiden dem Meridiane parallelen Seiten mit Stroh bedeckte, sonst war immer eine bis 5° steigende Erhöhung der Temperatur, am Vormittag in der Ostseite, am Nachmittag aber in der Westseite des Kastens zu bemerken.

Leider war ich nur im August mit allen diesen Vorbereitungen fertig, so dass ich nur eine solche Pflanze für meinen Versuch wählen konnte, die rasch keimt und wächst; ausserdem war es selbstverständlich auch zu wünschen, dass die Samen womöglich verhältnissmässig klein waren. Alles das glaubte ich in dem *Lepidium sativum* zu finden. Es wurden sechs Portionen Samen aufgewogen, die alle das nämliche Gewicht besaßen, und von denen jede 120 Samen enthielt.

Darauf wurde eine kreisförmige Scheibe von der Grösse der in jeder Abtheilung zur Aussaat bestimmten Fläche aus Papier ausgeschnitten und darauf 120 Punkte regelmässig vertheilt. Nachdem dies Papier in diesen Punkten durchlöchert worden war, legte man es der Reihe nach auf die den Abtheilungen im obern Kasten entsprechenden Flächen, und warf dann in jede Oeffnung einen Samen hinein. Darauf stellte ich den Kasten mit den Gläsern sorgfältig über die bepflanzen Flächen und liess ihn darauf stehen bis zum Ende des Versuches. Der Raum, der sich bildete zwischen dem aufgestellten und dem unteren mit Erde gefüllten Kasten, dessen Seiten 4—5 Zoll über die Erde hervortraten, wurde dazu benutzt, um eine gleichmässige Befeuchtung des Bodens zu ermöglichen, indem ich in denselben von Zeit zu Zeit Wasser bis zu einer gewissen Höhe eingoss. Dasselbe sickerte durch den Boden und gab auf diese Weise eine sehr regelmässige Befeuchtung in allen sechs Abtheilungen.

Ich brauche kaum noch zu bemerken, dass die inneren Wände des Kastens schwarz bestrichen waren. Die mattgeschliffenen Gläser waren, damit sie der Regen nicht benetze, ausserdem noch mit einfachen und etwas geneigten Glasscheiben bedeckt. Im entgegengesetzten Falle würden die gewählten Verhältnisse in der Beleuchtung ganz anders ausfallen, je nachdem mehr oder weniger Wassertropfen auf der mattgeschliffenen Scheibe liegen bleiben, und je nachdem sich das Wasser länger auf der einen als auf der andern Scheibe befindet.

Die Pflanzen keimten zu derselben Zeit, jedoch war schon am dritten Tage nach der Keimung eine Verschiedenheit im Wachsthum in den Abtheilungen zu bemerken.

Je mehr Licht, desto grüner erscheinen die Blättchen, und je weniger, desto länger die Stengelchen. In der fünften Abtheilung blieben die Pflanzen ebenso bleich wie in der sechsten, und dies während der ganzen Dauer des Versuchs. Nach sieben Tagen waren die Blätter sehr deutlich grösser dort, wo das Licht intensiver, die Stengel deutlich länger dort, wo es dunkler war. Die verschiedenen Pflänzchen in jeder einzelnen Abtheilung waren vollkommen gleichmässig ausgebildet; gleiche Höhe, gleiche Länge und Breite der Blättchen, mit einem Worte vollkommen gleiches Aussehen. Die Blättchen waren in der ersten Abtheilung stark nach unten concav gekrümmt, in der zweiten war die Krümmung schwächer, in der dritten noch schwächer und in den letzteren war sie kaum sichtbar. Auf die letzte merkwürdige Erscheinung hoffe ich an einem anderen Orte zurückzukommen; ich begnüge mich vorläufig damit, dieselbe nur zu erwähnen ²⁸⁾). Leider war ich genöthigt, den Versuch schon drei Wochen nach der Keimung fallen zu lassen. Es entwickelte sich nämlich eine Krankheit in den Stengelchen der Pflänzchen, deren Ursache mir unmöglich zu ermitteln. Sehr viele Exemplare neigten sich allmählich

28) Näheres darüber in Bot. Zeit. 1854 p. 32 von Martius und Bot. Zeit. 1864 p. 372 von Sachs.

knieförmig zur Seite, die Neigung stieg fortwährend. Der Stengel wurde im Knie der Neigung immer dünner und dünner, bis der obere Theil desselben sich vertical nach unten richtete, wo dann die Blättchen ihre untere Seite dem Lichte zuwendeten. Die Thatsache, dass in der Abtheilung

I	50
II	41
III	20
IV	13
V	0
VI	0 Exemplare

krank waren, liess mich vermuthen, dass diese Krankheit nicht durch Mangel an Licht bedingt sei. Dass dieselbe nicht durch allzustarkes Licht hervorgebracht sein könnte, ist von selbst verständlich; die Intensität war ja in dem ersten Kasten sogar gewiss geringer als 0,1 derjenigen, die im Freien auf die Pflanzen einwirken konnte, und bei welcher dieselben sehr gut gediehen. Indessen will ich auf diese Thatsache hier nicht näher eingehen, da sie doch einer genaueren Prüfung bedarf. Immerhin vermuthe ich, dass das Licht, oder besser die Art und Weise, wie es den Pflanzen zukam, nicht ohne Einfluss auf die soeben besprochene Erscheinung war.

Ich nahm also den oberen Kasten weg und zog alle vollkommen gesund gebliebenen Exemplare sammt den Wurzeln aus dem Boden heraus, was sich bei der Feuchtigkeit desselben ziemlich leicht thun liess. Alle so ausgezogenen Pflänzchen wurden für jede besondere Abtheilung gezählt, und wir erhielten auf diese Weise:

in Abtheilung	gesunde Pflänzchen
I	50
II	80
III	90
IV	100
V	110
VI	101

Die Blättchen wurden mit einer scharfen Scheere sorgfältig abgeschnitten und Stengel und Blätter einzeln für jede besondere Abtheilung eingetrocknet. Darauf wurden dieselben aufgewogen und man erhielt Zahlen, die zu folgender Tabelle führten.

Das Gesamtgewicht von Wurzeln, Stengeln und Blättern für die Abtheilung I mit Lichtintensität I als 100 gesetzt, war folgendes:

Nr. der Abtheilung	Lichtintensität	Gewicht
I	1	100
II	$\frac{1}{2}$	99,5
III	$\frac{1}{3}$	100
IV	$\frac{1}{4}$	101
V	$\frac{1}{5}$	98
VI	dunkel	100

In diesem Falle ist, wie schon von Boussingault²⁹⁾ recht genau bewiesen wurde, das Gewicht der organischen Substanz der im Dunkeln aufgewachsenen Pflanze jedenfalls kleiner als das der Samen. In allen Abtheilungen also übersteigen die Gewichte der Pflanzen noch nicht die der Samen. Die Zahlen dieser Tabelle sind so nahe einander gleich, dass wir die unbedeutenden Differenzen als Fehler ansehen können, durchaus nicht, aber als etwas durch verschiedenes Licht Bedingtes, und dies um so mehr, da ja die Ab- oder Zunahme selbst in diesen kleinen Differenzen in keiner Beziehung mit den Lichtunterschieden steht. Die Grösse der Blätter aber, die sehr deutlich mit der zunehmenden Lichtintensität wuchs, liess es schon vermuthen, dass das Gewicht derselben in allen Abtheilungen nicht das nämliche sei. Die Blätter, und die Stengel mit den Wurzeln gewogen, und für ein Pflanzenindividuum dann in jeder Abtheilung berechnet, gaben folgende Zahlen:

29) Comptes rendus 1864. P. 58. p. 883.

auf 100 Gewichttheile:

Abtheilung	Blätter	Stengel u. Wurzeln
I	30	70
II	22	78
III	18	82
IV	17	83
V	16,5	83,5
VI	16,7	83,3

Man sieht also hier eine deutliche Zunahme im Gewicht der Blätter mit der zunehmenden Lichtintensität. Vergleicht man beide Tabellen mit einander, so wird man auch leicht bemerken, dass die Zunahme der Gewichte bei den Stengeln und Wurzeln umgekehrt geht, d. h. sie wächst mit der Abnahme der Lichtintensität. Wir können aus diesem Versuche schliessen, dass in einem Alter, wo noch die Pflanzen ihre organische Substanz auf Kosten der im Samen enthaltenen bilden, wenn auch ihre gesammte organische Substanz dem Gewichte nach nicht durch die verschiedenen Lichtintensitäten modificirt ist, — schon mit der Zunahme der Lichtintensität eine Zunahme des chlorophyllhaltigen Blattes, mit der Abnahme derselben eine in derselben Proportion stattfindende Zunahme des chlorophyllfreien Stengels vorhanden ist. Auch sind im letzteren Falle die Stengel länger und ebenso die Wurzeln, und dies ist durchaus durch nichts Anderes als durch Mangel an Licht bedingt, denn gerade so verhielten sich auch die in der dunkeln Abtheilung erwachsenen Pflänzchen.

Ueberhaupt waren die Pflanzen in Nr. V u. VI vollkommen, sowohl ihrem Aussehen, als auch ihrem Gewichte nach, einander ähnlich: Die Lichtmenge, die der Abtheilung Nr. V zukam, war zu gering, um irgend einen Unterschied in dem Wachsthum der Pflanzen, wenigstens bis zu dem betreffenden hervorrufen zu können. Es kann hier selbstverständlich keine Rede davon sein, ein anderes Verhältniss zwischen dem Zuwachse der Blätter und den Lichtintensitäten zu finden, als das eben angeführte.

Man sieht hier nicht, ob die Chlorophyllbildung direct proportional mit dem Lichte geht, und kann auch von so schwierig anzustellenden und so kurz dauernden Versuchen nicht eine zu grosse Genauigkeit der Resultate erwarten; indessen glaube ich eine ziemlich praktische Art und Weise, wie man dasselbe erforschen könnte, angedeutet zu haben. — Aber alle Schwierigkeiten, die in dem so construirten Apparate mir vorgekommen sind, fallen von selbst weg, sobald man dazu eine einfache und genaue photometrische Methode in Anwendung bringen kann. Und dies haben wir, wie schon früher erwähnt, vollkommen in dem Roscoe'schen Apparate gefunden. Ich will hier in der Kürze erwähnen, wie man bei der Construction des betreffenden Apparates den Roscoe'schen Photometer zu Hülfe nehmen muss.

Da die Schwankungen in den chemischen Strahlen, wie wir das schon öfters bemerkten, sehr schnell wechseln können und die Zeit, die nothwendig ist, um eine genügende Schwärzung des photographischen Papiers zu bekommen, doch eine ziemlich beträchtliche sein kann, je nachdem freilich demselben mehr oder weniger Licht zukommt, so kann man zuverlässige Resultate nur dann erhalten, wenn man die relativen Lichtintensitäten zweier oder mehrerer gegebenen Stellen gleichzeitig untersucht. Den Gang der Untersuchung würde man bei meinem Apparate folgendermaassen anstellen müssen: Man hat zuerst die Entfernung aufzusuchen, welche nothwendig ist, damit eine gewählte zur Aussaat bestimmte Fläche gleichmässig beleuchtet erscheint. Man braucht dazu nicht einen Papierstreifen mit neun Oeffnungen und untergelegtem photographischen Papier, wie man derartiges bei dem Roscoe'schen Apparate anwendet, sondern man gebraucht einen solchen mit so vielen Oeffnungen, wie viele derselben in den Durchmesser der gegebenen Fläche je nach ihrer Dimension hineingehen können.

Unter allen diesen Oeffnungen setzt man, wie sonst, bis zu ihrer Hälfte photographisches Papier und befestigt darauf den ganzen Papierstreifen auf einem Lineal mit breiter Fläche.

Ein anderes Lineal kann dazu dienen, um die Oeffnungen mit dem photographischen Papier vor und nach dem Versuche zu bedecken, und auf diese Weise dieselben vor fremdem Lichte zu schützen. — Bringt man einen auf diese Weise angefertigten Streifen möglichst horizontal unter die Glasscheibe, so kann man leicht in jeder Entfernung von derselben bestimmen, wie gross der Durchmesser des Kreises ist, der in allen seinen Punkten gleichmässig beleuchtet ist, und auf diese Weise auch die Entfernung finden, bei welcher der Durchmesser einer gewählten Fläche in derselben Bedingung sich befindet. Die gefundene Entfernung giebt also das Maas für die Höhe des Apparates. Man muss jedoch nicht vergessen, dass die Pflanzen, welche auf diese Fläche gesäet sind, wachsen und ihre Höhe verändern, dass somit also das Verhältniss in der Beleuchtung der Blätter nicht gleich bleiben kann. Es ist also nothwendig, je nach der Höhe, zu der die gewählten Pflanzen hinreichen können, die Glasscheibe noch mehr von dem Boden zu entfernen. Dieselbe Höhe des Apparates wird also um so mehr die gesuchten Bedingungen für alle anderen mit grösseren Oeffnungen versehenen Abtheilungen erfüllen. — Nachdem dies geschehen ist, muss man nur noch die relativen Lichtintensitäten der Abtheilungen messen. Zu diesem Zweck untersuche man gleichzeitig zwei Punkte, von denen der eine in der Abtheilung Nr. I liegt, der andere in Nr. II, darauf wiederholt man dasselbe zwischen II und III, zwischen III und IV u. s. f. — Auf diese Weise erhält man das Verhältniss der Lichtintensitäten in I, II, III u. s. w. Bei gleichzeitig ausgeführtem Versuche braucht man selbstverständlich die Zeiten nicht zu messen, was die Arbeit noch um so mehr erleichtert. Wiederholt man diese Messungen mehrere Mal nach der Reihe, und zieht von den gefundenen Zahlen die Mittelwerthe ab, so kann man sich in kurzer Zeit einen sehr passenden Apparat construiren, um Pflanzen unter verschiedenen und in einem gewissen ermittelten Verhältnisse stehenden Lichtintensitäten wachsen zu lassen.

Wenn man im Besitze eines grösseren verdunkelten Rau-

mes ist, so kann man für den betreffenden Zweck eine noch einfachere Construction anwenden. — Man braucht nur das Licht durch eine kreisförmige Oeffnung von oben her eintreten zu lassen. Vermittelst eines Cylinders, den man in diese Oeffnung vertical einstellt und eines oder zweier mattgeschliffener Gläser kann man leicht eine gleichmässige Dispersion des Lichtes in dem gegebenen Raume hervorbringen, und dieselbe bei jedem Stande der Sonne und bei beliebiger Bewölkung des Himmels unverändert erhalten. Wenn man dem Cylinder eine solche Höhe giebt, dass die direkten Sonnenstrahlen sogar bei dem höchsten Stande der Sonne ins Innere des Raumes nicht eindringen können, so kann man dadurch in dem letzteren eine ziemlich gleichmässige Abstufung in der Beleuchtung des Bodens hervorbringen, ohne sonst irgend welche andere Einrichtung. — Der Punkt auf dem Boden, der sich unmittelbar in der Verlängerung der Axe des Cylinders befindet, wird freilich am meisten beleuchtet; je mehr man aber sich von ihm in der Horizontalebene entfernt, desto geringer wird die Lichtmenge, und endlich, wenn man zu dem Punkte auf dem Boden kommt, wo die Diagonale des Cylinders bei ihrer Verlängerung den Boden trifft, ist dieser die Grenze der beleuchteten Fläche. Alles was noch weiter darüber zu liegen kommt, kann nur reflectirtes Licht erhalten. Auf diese Weise bekommen wir auf dem Boden des gegebenen Raumes eine Reihe concentrischer Kreise mit abnehmender Lichtintensität. Der Raum aber muss bei dieser Einrichtung, wie gesagt, ziemlich gross sein, weil wir hier nicht mit Punkten oder Linien, sondern mit Pflanzen zu thun haben, und diese doch auch einen gewissen Raum einnehmen müssen. Selbstverständlich wird die Beleuchtung einer Pflanze desto gleichmässiger sein, je grösser der Apparat im Verhältniss zur gegebenen Pflanze ist.

Bei allen diesen Einrichtungen braucht man ausser den mathematischen Berechnungen, die hier jedenfalls schwierig ausfallen werden, da man ja nichts allzusehr Genaues sowohl in der Verfertigung der Apparate, als auch in der gleichmässigen

gen Schleifung der Gläser erwarten kann, einen Photometer, der uns schon bei dem aufgebauten Apparate die relativen Beleuchtungen in jedem beliebigen Punkte desselben unmittelbar zeigt. Einen solchen Photometer begegnen wir in dem Roscoe'schen Apparate. Man kann vermittelst der von ihm angegebenen Methode, und bei zweckmässigem Gebrauche seines photographischen Papiers, die Lichtintensität in jedem beliebigen Punkte nicht nur in einem gegebenen Raume, sondern sogar auf einer und derselben Pflanze nachmessen. — Freilich alles dies nur bei zweckmässiger Einrichtung des betreffenden, zum Lichtversuchen mit Pflanzen bestimmten Apparates, also immer da, wo die Ab- oder Zunahme der Intensitäten in der Beleuchtung nur durch die grössere oder kleinere Entfernung der gegebenen Pflanze von der leuchtenden Quelle, nicht aber durch Veränderung der Farbe oder überhaupt durch Verschiedenheit der von zwei verschiedenen Lichtquellen herrührenden Intensitäten bedingt ist. Unter dieser Bedingung allein zeigen uns die Schwärzungen des photographischen Papiers nicht nur die relativen Intensitäten der dabei wirkenden chemischen Strahlen, sondern auch die für sämtliche Strahlen, welche dabei wirken.

Abtheilung III.

Wir haben bis jetzt nur von dem Verhältnisse des Lichtes zur Ausscheidung der Gase geredet, indem wir die Frage nicht berührten, wie sich ihre procentische Zusammensetzung bei der Abscheidung verhält. Was die Kohlensäure anbelangt, so haben wir schon gezeigt, dass ihre Menge zu gering ist, als dass sich aus dieser irgend welche Schlüsse über ihre Entstehung ziehen liessen. Es bleibt also nur noch übrig das procentische Verhältniss des Sauerstoffs zum Stickstoff zu besprechen.

Die Frage, woher der sich ausscheidende Stickstoff rührt, hat schon, seit Saussure, viele Naturforscher beschäftigt. Auch in dieser Angelegenheit thut sich wieder der Scharfblick jenes Mannes kund, denn die Ansicht, die er bei der Beantwortung dieser Frage gewonnen hat, ist, meiner Meinung nach, auch noch jetzt die richtigste, obgleich schon viele gegen dieselbe angekämpft haben. Saussure meinte, dass der Stickstoff, welchen die Pflanzen ausscheiden, aus seiner Lösung in den Pflanzensäften herrührt, und zum Theil durch das von den Pflanzen entwickelte Sauerstoffgas, zum Theil aber durch die von aussen aufgenommene Kohlensäure, ausgetrieben wird.

Drapper²⁹⁾ (A treatise on the forces which produce the org. of plants) schliesst aus seinen Versuchen, dass der ausgeathmete Stickstoff nicht als durch Diffusion ausgeschieden be-

29) Rohleder's Chemie und Physiologie der Pflanzen. 1858. S. 144.

trachtet werden könne, denn es werden auch von Pflanzen, wenn sie sich im stickstofffreien Wasser befinden und aus diesem alle Luft gepumpt wurde, entwickelt, ja die Entwicklung nahm sogar mit der Dauer eines solchen Versuches zu.

Daubeny ³⁰⁾ sagt, dass der Procentgehalt von Sauerstoff im farbigen Lichte immer geringer war, als im weissen und dass der Stickstoffgehalt in seinem procentischen Verhältnisse um so mehr steigt, je schwächer die gesammte Gasausscheidung ist.

Boussingault ³¹⁾ bekämpft die Ansicht von Drapper und strebt zu beweisen, dass, im normalen Zustande der Pflanze, solche eine Stickstoffabscheidung von dem Luftgehalte des Wassers und aus der Luft selbst herkommen könne.

Unger ³²⁾ hat gezeigt, dass der Stickstoff aus der in die Pflanze eingedrungenen atmosphärischen Luft herrührt.

Cloëz, Gratiolet, Knop u. A. haben diese Frage öfters in Arbeit genommen, jedoch wurde sie nicht genügend entschieden, so dass auch Sachs in seiner a. a. O. c. Arbeit über das Verhalten der Gasabscheidung zu verschiedenfarbigem Lichte die Meinung ausspricht, die eudiometrischen Eigenschaften des im blauen oder orangen Lichte ausgeschiedenen Gases, seien möglicher Weise verschieden.

Wenn wir nun die beiden früher besprochenen Thatsachen von der Proportionalität der Ausscheidung zum Lichte und von der Unabhängigkeit dieser Proportionalität von der procentischen Zusammensetzung der Gase beachten, so gelangen wir zum Schlusse, dass die Stickstoffausscheidung hier in keiner Beziehung zum Lichte steht und dass der Stickstoff nur durch den sich fortwährend neu bildenden Sauerstoff aus dem Innern der Pflanze, in die er durch Diffusion (hauptsächlich während der Nacht oder im Dunkeln) gelangte, nach aussen ausgetrieben wird. Jede Pflanze, die in ihren Lufträumen mit irgend einer aus

30) *Philosoph. Transact.* 1836.

31) *Economie rurale.* 1858.

32) *Sitzungsberich. der Kais. Acad. der Wissenschaften.* 1858.

Stickstoff und Sauerstoff bestehenden Luftart erfüllt ist, muss im Dunkeln allmählig dazu kommen, dass sie nur Stickstoff enthält, denn der Sauerstoff wird ja fortwährend durch alle sich oxidierenden Substanzen absorbiert. Es ist also klar, dass wenn man dieselbe Pflanze dem Lichte aussetzt, so bekommt man nicht nur den aus der Zersetzung von Kohlensäure und Wasser freigewordenen Sauerstoff, sondern auch den bis dahin die Pflanze erfüllenden Stickstoff.

Daraus ist leicht zu erkennen, weshalb das am Morgen gesammelte Gas reicher an Stickstoff ist, als das des Mittags ausgeschiedene und weshalb der Procentgehalt an Stickstoff in einem sich aus einer Pflanze ausscheidenden Gase immer mehr und mehr abnimmt. Die Quantität des Stickstoffs, die während der Sauerstoffausscheidung aus dem Wasser in die Pflanze diffundiren kann, ist so unbedeutend, dass man aus einer Pflanze stundenlang ein Gas erhalten kann, der kaum zwei Procente Stickstoff enthalten wird, eine Quantität, die zu klein ist, als dass man entscheiden könnte, ob dieselbe nicht in das Bereich der Fehlerquellen zu versetzen sei. Man kann mit Leichtigkeit berechnen, wie sich in der Function einer beliebigen Zeit t z. B. der Gehalt vom Sauerstoff in dem ausgeschiedenen Gase vermehrt, der des Stickstoffs vermindert. Gesetzt der Sauerstoff bilde sich im Innern der Pflanze mit einer Schnelligkeit von v Volumen in der Secunde, wenn das im Innern die Pflanze ausfüllende Gas 1 Volumen ist und das aus reinem Stickstoff besteht³³⁾. Den Sauerstoff werden wir durch O , den Stickstoff durch N bezeichnen.

In der 1.^{en} bildet sich also im Innern der Pflanze $v O$,
 was ein gleiches Volumen $v N$
 nach aussen austreibt.

Es hinterbleibt also in der Pflanze $N - v N + v O$

In der 2.^{en} strömt wieder $v O$ ein, was $v(N - v N + v O)$
 $= v N - v^2 N + v^2 O$ verdrängt, dass heisst für Stickstoff wird
 es $= (1 - v)$, für Sauerstoff v^2 betragen.

33) v ist also ein echter Bruch.

Im Innern bleibt nun $N - vN + vO - (vN - v^2N + v^2O) + vO$
 $= N - vN + 2vO - vN + v^2N - v^2O = (v^1 + 1 - 2v)N + (2v - v^2)O$
 und aus demselben strömt in der 3." Stickstoff $= v(1 - v)^2$ für
 Sauerstoff $= 2v^2 - v^3$.

Die Mengen also von Stickstoff in dem ausströmenden Gase
 werden sich folgendermassen verhalten:

in 1" geht v	aus
" 2" " $v(1 - v)$	"
" 3" " $v(1 - v)^2$	"
" 4" " $v(1 - v)^3$	"
" t " " $v(1 - v)^{t-1}$	"

Wenn man aber die gesammten Mengen des, bis zu einer
 gewissen Zeit ausgeschiedenen Stickstoffes haben will, so braucht
 man nur in die bekannte Gleichung:

$$s = \frac{zq - a}{q - 1}$$

$z = (1 - v)^{t-1}$; $a = 1$ und $q(1 - v)$ zu setzen und wir erhalten:

$$\text{in } t \dots s = \frac{(1 - v)^t - 1}{(1 - v) - 1} = \frac{1 - (1 - v)^t}{v}$$

Es ist leicht vermittelt dieser Formeln zu berechnen, wie
 sich in einer gegebenen Zeit der Stickstoff und Sauerstoff in
 ihrer procentischen Menge verhalten müssen. Angenommen z.
 B., dass in jeder Secunde ein Volumen v ausgeschieden wird,
 $-v$ sei gleich 1 und $n = 1000$, — so werden die Gas-Volumina
 in folgender Weise auftreten:

	N	O
in der 1"	1	+ 0
" 20"	0,9811	+ 0,0189
" 40"	0,9616	+ 0,0383
" 2'	0,8877	+ 0,1123
" 20'	0,3013	+ 0,6987
" 30'	0,1653	+ 0,8347
" 1 Stunde	0,0273	+ 0,9727

Die Summe aber des gesammten Volumina der in einer

gewissen Zeit ausgeschiedenen *N* und *O* wird folgendermaassen zu Stande kommen :

		<i>N</i>		<i>O</i>
in	20"	19,811	+	0,189
in	40"	39,229	+	0,771
in	1' 20"	76,919	+	3,081
in	2' —	133,130	+	6,870
in	30' —	834,842	+	965,158
in	20' —	972,722	+	2627,278

Es gelang mir sogar das auf diese Weise theoretisch geschilderte Verhalten des Stickstoffs auch factisch zu prüfen.

Bei einem vollkommen wolken- und nebelfreien Himmel brachte ich vier Stücke von *ceratophyllum demersum* von 6—7 Zoll Länge in kohlensaures Wasser ein. Das Gas wurde, wie oben beschrieben, in einem Probirröhrchen aufgefangen. Die Pflanzen wurden den Sonnenstrahlen um 11 Uhr 30' ausgesetzt und zwei Minuten darauf, nachdem die regelmässige Ausscheidung begonnen hatte, wurde die Zahl der Blasen, die in einer Minute aus jedem Stengel austrat, notirt; die Gase wurden aufgefangen. 20' darauf wurde das mit Gas gefüllte Röhrchen zur Seite gestellt und ein anderes an seine Stelle gesetzt. Die Zählung der Blasen wurde aufs Neue vorgenommen. Nach 20' wurde dasselbe mit einem dritten Probirröhrchen wiederholt.

Von vier Versuchen, die ganz auf dieselbe Weise angestellt worden waren, ist nur ein einziger nach Wunsch gelungen; hier war also die Ausscheidung ziemlich constant während einer ganzen Stunde geblieben; die übrigen Versuche alle waren gegen das Ende ihrer Dauer hin durch die zu stark gestiegene Temperatur, durch die Veränderung der Beleuchtung oder durch irgend welche anderen Umstände unregelmässig geworden. In der folgenden Tabelle sind die Schwankungen in der Ausscheidung der Gase aus allen vier Stengeln zu ersehen:

	Zahl der Blasen in einer Minute aus				Temperatur des Wassers
	1	2	3	4	
um 11 Uhr 30'	56	67	48	72	30° C.
„ — „ 50'	60	65	49	75	31 „
„ 12 „ 10'	57	68	50	74	31,5 „
„ 12 „ 30'	58	69	49	70	32 „

Ich unternahm nun die Analyse der gesammelten Gase und fand in 100 Theilen: N O

in der Menge die von 11 U. 30' bis 11 U. 50' ges.	45,67	54,33
— — — 11 „ 50' „ 12 „ 10' „	25,81	74,19
— — — 12 „ 10' „ 12 „ 30' „	15,02	84,98

Wenn man aber die beiden ersten Stickstoffmengen betrachtet und nach den angegebenen Formeln ermittelt, so bekommt man für den Stickstoff, der um 12 Uhr 30' gesammelt worden war 14,58, eine Zahl also die sehr nahe der aufgefundenen 15,02 liegt.

Beim Rückblick auf das in dieser Abtheilung Verhandelte gelangen wir zu den Schlüssen:

- 1) dass die Ausscheidung des Stickstoffes nicht durch eine physiologische Verrichtung der Pflanze bedingt ist;
- 2) dass der Stickstoff durch den Sauerstoff aus dem Innern der Pflanze ausgetrieben wird, und
- 3) dass die Mengen des Stickstoffes in dem sich ausscheidenden Gase in einem geometrischen Verhältnisse abnehmen, wenn die Zeiten in einem arithmetischen wachsen.

Es bleibt mir nur noch übrig, dem Himmel dafür zu danken, dass er während des Sommers 1865 auf meine Versuche heiter herunterblickte.

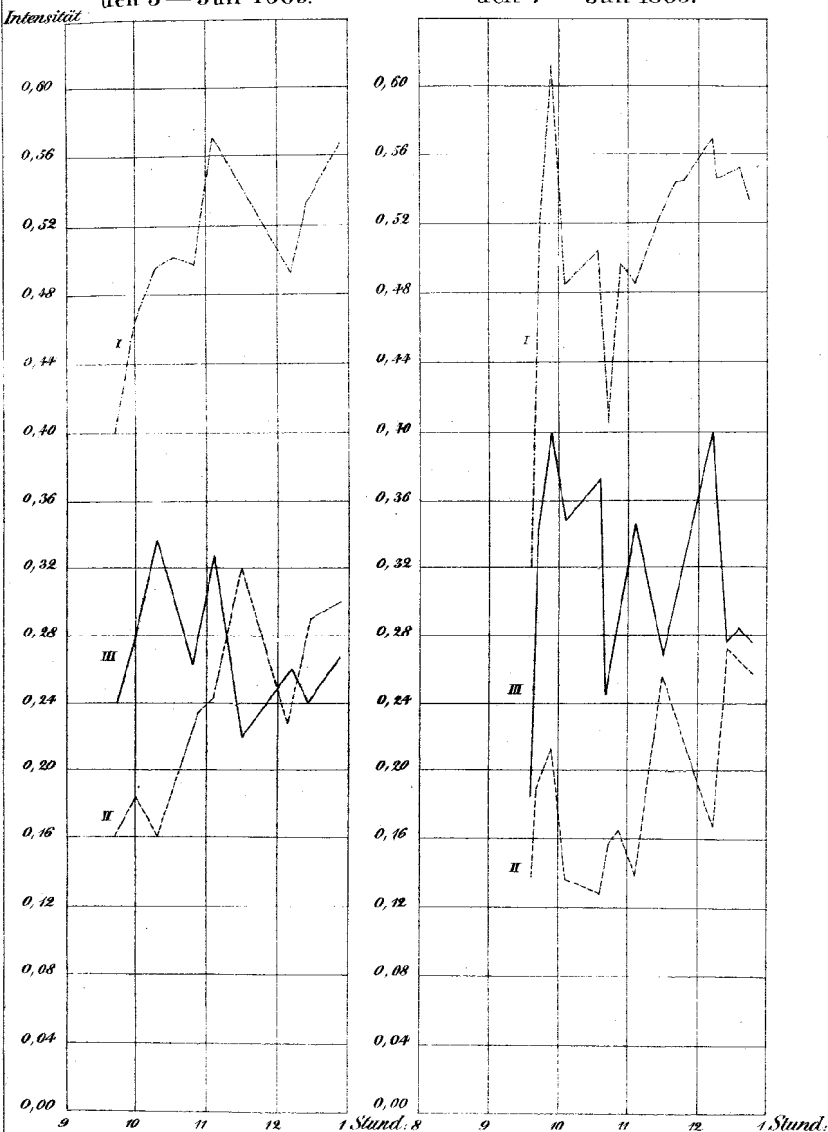
Nächst ihm fühle ich mich verpflichtet, meinen Freunden, den Herren Dr. Rosow, Poel und Hackel für die Mühwaltung, welcher sie sich bei meinen Arbeiten und besonders bei den Versuchen auf dem Königsstuhle, unterzogen, meinen wärmsten Dank hiermit abzustatten.



Thesen.

- 1) Die Landwirthschaft in Russland wird jedenfalls mehr durch ökonomische Facultäten als durch landwirthschaftliche Fachschulen gefördert.
 - 2) Für Russland ist nur die Theorie und nicht die Praxis der ausländischen Landwirthschaft gegenwärtig vom Nutzen.
 - 3) Die bis jetzt existirenden Theorien über Heliotropismus (positiven und negativen) sind nicht haltbar.
 - 4) Die grössten Verdienste um die Landwirthschaft hat sich Liebig durch seine Widersprüche erworben.
 - 5) Die Flachsbereitung in Russland ist eine zweckwidrige.
 - 6) Sibirien ist, meiner Meinung nach, durchaus passend, um dort ein naturwissenschaftliches Institut anzulegen.
-

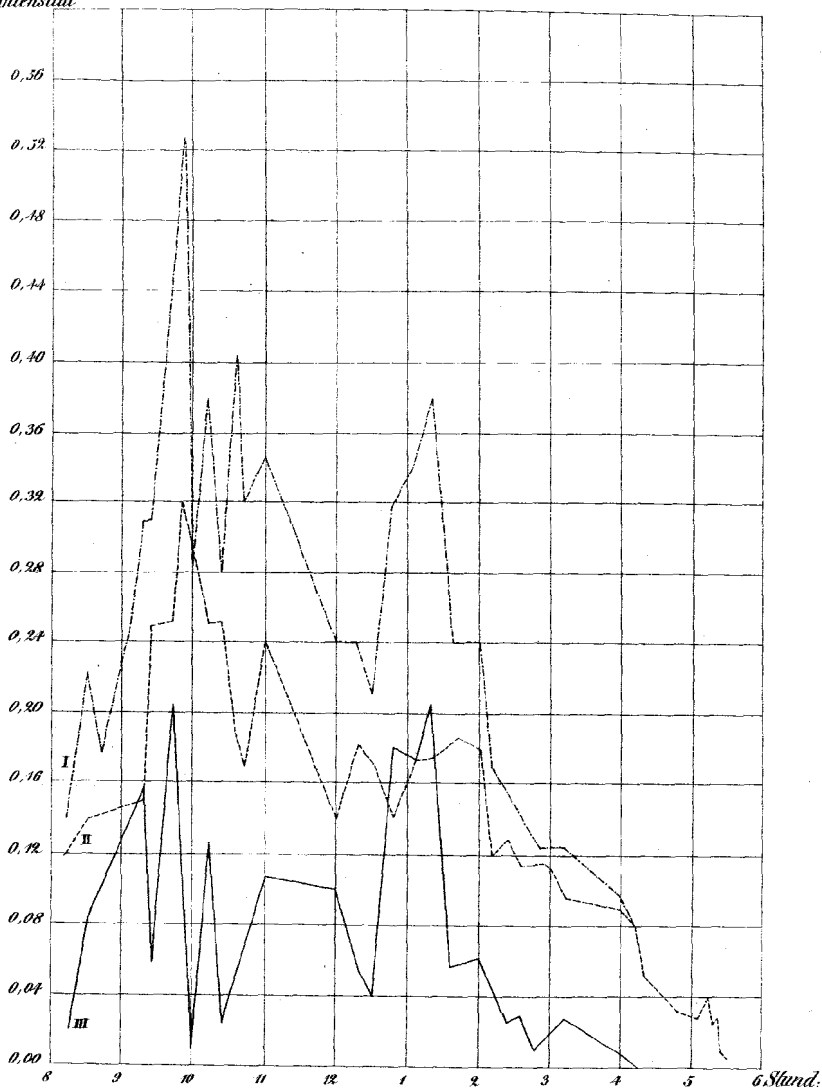
Auf dem Königsstuhl bei Heidelberg
bei vollkommen heiterem Himmel

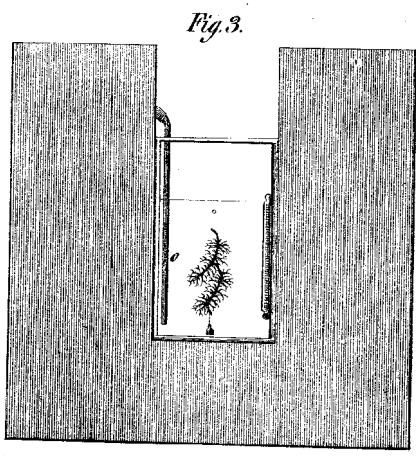
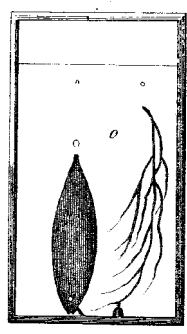
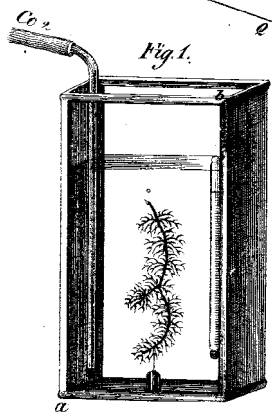
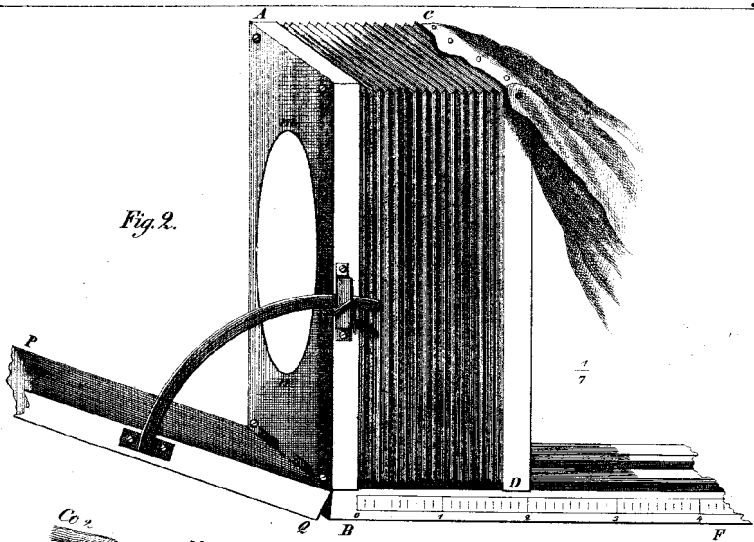
den 3^{ten} Juli 1865.den 7^{ten} Juli 1865.Curven N^oI. Sonne und Himmel." N^oII. Himmel allein." N^oIII. Sonne allein.

Den 4^{ten} October 1865

auf dem Königsstuhl bei Heidelberg bei vollkommen reinem Himmel

Intensität

Curve N^o I. Sonne und Himmel." N^o II. Himmel allein." N^o III. Sonne allein.



Zur feierlichen
MAGISTER-PROMOTION

des Herrn
Alexander Wolkoff,
welche

Sonnabend den 7. Mai, Vormittags 11 Uhr,
im grossen Hörsaale der Kaiserl. Universität
stattfinden wird,

Dorpat,
den 6. Mai 1866.

laden ergebenst ein
Decan u. Mitglieder
der physiko-mathem. Facultät.